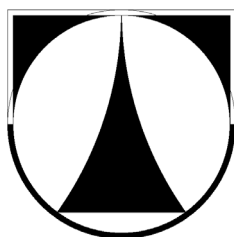


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Diplomová práce

INFLUENCE OF HUMIDITY ON INSULATIVE
CHARACTERISTICS OF WEB FOR SLEEPING-BAGS

VLIV VLHKOSTI NA IZOLAČNÍ VLASTNOSTI
ROUN PRO SPACÍ PYTLE

PAVOL HREHA

Evidenční číslo: 783

Vedoucí DP: Ing. Ladislav Sieger, CSc.

Konzultant DP: Ing. Petra Komárková, Ph.D.

Počet stran: 75

Počet grafů: 6

Počet tabulek: 38

Počet obrázků: 9

Počet příloh: 4 + CD

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Katedra oděvnictví

Školní rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro:

Pavla Hrehu

obor: 3106T005 Oděvní technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Vliv vlhkosti na izolační vlastnosti roun pro spací pytle**

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te literární rešerši uvedené problematiky.
2. Sestavte matematický model a jeho chování porovnejte s výsledky experimentu.
3. Navrhněte experiment pro ověření vlivu vlhkosti na izolační vlastnosti roun.
4. Zhodnoťte výsledky vyplývající z experimentu.

Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní, Katedra oděvnictví
Studentská 2, 461 17 Liberec 1

V Liberci, dňa 12.05.2008

VEC: Žiadosť o predĺženie termínu odovzdania DP

Žiadam Vás o predĺženie termínu odovzdania diplomovej práce do 12.05.2008.
Názov diplomovej práce: Vplyv vlhkosti na izolačné vlastnosti rúna pre spacie vaky.
Za kladné vybavenie mojej žiadosti vopred ďakujem.

S pozdravom

Pavol Hreha

Prehlásenie

Prehlasujem, že predložená diplomová práca je pôvodná a spracoval som ju samostatne. Prehlasujem, že citácia použitých prameňov je úplná, že som v práci neporušil autorské práva (v zmysle zákona č. 121/2000 Zb. O autorskom práve a o právach súvisiacich s právom autorským).

Súhlasím s umiestnením diplomovej práce v Univerzitnej knižnici TUL.

Bol som oboznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č.121/2000 Zb. o autorskom práve, najmä § 60 (školské dielo).

Beriem na vedomie, že TUL má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o užití mojej diplomovej práce a prehlasujem, že **súhlasím** s prípadným užitím mojej diplomovej práce (predaj, zapožičanie apod.).

Som si vedomý toho, že použiť svoju diplomovú prácu či poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom TUL, ktorá má právo odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, vynaložených univerzitou na vytvorenie diela (až do ich skutočnej výšky).

V Liberci, dňa 12.05.2008

.....

Podpis

Pod'akovanie

Touto cestou by som rád pod'akoval Ing. Ladislavovi Siegerovi, CSc. za poskytnutie meracej techniky, materiálových podkladov a za odborné vedenie diplomovej práce. Ďalej by som rád pod'akoval Ing. Petre Komárkovej, Ph.D. za jej cenné rady a pripomienky. V neposlednom rade patrí vďaka aj celej mojej rodine a priateľom, ktorí mi boli oporou počas písania tejto diplomovej práce.

Abstrakt

Cieľom tejto diplomovej práce je posúdiť vplyv vlhkosti na tepelnoizolačné vlastnosti rúna pre spacie vaky. Práca je rozdelená na dve časti. Prvá časť je teoretická a popisuje problematiku tepelnoizolačných vlastností rúna pre spacie vaky. Druhá časť je experimentálna a skúma vplyv vlhkosti na tepelnú vodivosť rúna, pomocou prístroja Lambda-meter. Experiment je rozdelený na dve časti. Prvá časť experimentu bola realizovaná v klimatizačnej komore pri teplotách +10, +20, +50 °C. Absolútna vlhkosť sa počas týchto meraní pohybovala v rozsahu od 0 do 80 g·m⁻³. Druhá časť experimentu bola realizovaná v laboratóriu pri teplotách +10, +20 °C (reálne klimatické podmienky). Absolútna vlhkosť sa počas týchto meraní pohybovala v rozsahu od 6250 do 25000 g·m⁻³. Namerané hodnoty boli spracované a porovnané s teoretickým modelom.

Kľúčové slová: spací vak, rúno, vlhkosť, tepelná izolácia, tepelnoizolačné vlastnosti, tepelná vodivosť, tepelný komfort.

Abstract

The aim of the diploma thesis is pass judgment on influence of humidity on insulative characteristics of web for sleeping-bags. This thesis is bipartite. First part is theoretical and describes problems of thermal insulative characteristics of web for sleeping-bags. Second part is experimental and examines influence of humidity on the heat conductivity of web for sleeping-bags by the help of apparatus Lambdameter. Experiment is bipartite. First part of experiment is realized in conditioning chamber at temperature +10, +20, +50 °C. Absolute humidity was over this metering in the range $0 - 80 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Second part of experiment was in laboratory at temperature +10, +20 °C (real climatic conditions). Absolute humidity was over this metering in the range $6250 - 25000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Measured variable was compare with theoretic model.

Keywords: sleeping bag, web, humidity, thermal insulation, insulating properties, thermal conductivity, thermal comfort.

Obsah

Zoznam skratiek a symbolov	11
Úvod	14
1 Netkané textilie.....	16
1.1 Výroba objemových NT	17
1.2 Použitie objemových NT	18
2 Vložkové materiály pre spacie vaky.....	19
2.1 Syntetický vložkový materiál	19
2.1.1 Duté vlákna	20
2.1.2 Mikrovlákna.....	20
2.2 Prírodný vložkový materiál	21
2.2.1 Perie	21
2.2.2 Vlnené rúno.....	22
3 Tepelnoizolačné vlastnosti.....	23
3.1 Tepelný odpor	23
3.2 Merný tepelný odpor.....	24
3.3 Tepelná vodivosť	25
4 Prenos tepla	27
4.1 Vedenie (kondukcia).....	27
4.2 Prúdenie (konvekcia)	29
4.3 Sálanie (radiácia)	30
5 Vplyv vlhkosti.....	32
5.1 Vlhkosť vzduchu.....	32
5.1.1 Tlak vodnej pary	32
5.1.2 Absolútna vlhkosť.....	33

5.1.3	Relatívna vlhkosť	33
5.1.4	Merná vlhkosť	34
5.1.5	Rosný bod	34
5.1.6	Meranie vlhkosti vzduchu	34
5.2	Pohlcovanie vlhkosti textilným materiálom	35
5.2.1	Sorpčné vlastnosti	35
5.2.2	Hydromechanické vlastnosti	36
5.2.3	Tok vlhkosti	36
5.3	Vplyv vlhkosti na typy vlákien	37
6	Vplyv ostatných faktorov	38
6.1	Jemnosť vlákien	38
6.2	Zaplnenie	38
6.3	Priedušnosť	39
6.4	Stlačiteľnosť	39
6.5	Tepelný tok	39
7	Literárna rešerš.....	40
7.1	Technické informácie	40
7.2	Odkazy na zaujímavé publikácie	40
7.3	Vyhodnotenie získaných informácií	43
8	Návrh experimentu	44
8.1	Popis materiálu	45
8.1.1	Príprava vzoriek materiálu	46
8.2	Meracie prístroje a zariadenia	47
8.2.1	Lambdameter	47
8.2.2	Klimatizačná komora	49
8.2.3	Minikin TH	50
9	Realizácia experimentu	51
9.1	Orientačné pokusy	51
9.2	Vlastný experiment	52

10 Matematický model	56
10.1 Úvod.....	56
10.2 Model A	57
10.2.1 Výsledky modelu A	61
10.3 Model B	61
10.3.1 Výsledky modelu B	62
11 Výsledky a diskusia.....	63
11.1 Prvá časť experimentu	63
11.2 Druhá časť experimentu.....	65
11.3 Model vs. experiment	67
Záver	71
Bibliografia	73
Príloha A.....	76
Príloha B	89
Príloha C.....	94

Zoznam skratiek a symbolov

a	– absolútna vlhkosť [$kg \cdot m^{-3}$]
a	– hmotnostný podiel suchej textílie [%] (kapitola 10.3)
a. i.	– a iné
a pod.	– a podobne
atď.	– a tak ďalej
b	– hmotnostný podiel vody v textílii [%] (kapitola 10.3)
c	– merná tepelná kapacita vody 4180 [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
cca	– približne
CD	– optický digitálny dátový nosič (Compact Disk)
ČVUT	– České vysoké učení technické
FEL	– Fakulta elektrotechniky
h	– hrúbka [m]
kvadrat.	– kvadratická
l_w	– merné výparné teplo vody $2,4 \cdot 10^6$ [$J \cdot K^{-1}$]
λ	– tepelná vodivosť [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
λ_t	– tepelná vodivosť textílie [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
λ_{tv}	– tepelná vodivosť vlhkej textílie [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
λ_v	– tepelná vodivosť vody [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
m	– hmotnosť [kg]
m_a	– hmotnosť suchého vzduchu [kg]
m_h	– hmotnosť vodnej pary [kg]
m_1	– hmotnosť vody v rúne [kg]
m_2	– hmotnosť vyparenej vody [kg]
max.	– maximum, maximálne
N	– celkový počet meraní
NT	– netkaná textília
p	– tlak [Pa]
p_w	– parciálny tlak vodnej pary [Pa]

p_{ws}	– tlak nasýtenej vodnej pary [Pa]
Δp	– tlakový spád [Pa]
p_0	– max. ustálená hodnota zapisovača v [cm] odpovedajúca priepustnosti vodných pár pred vložením textílie do prístroja
p_1	– max. ustálená hodnota zapisovača v [cm] odpovedajúca priepustnosti vodných pár po vložením textílie do prístroja
popr.	– poprípade
P	– pravdepodobnosť (v prílohe B)
P	– tepelný výkon [W]
P_h	– relatívna priepustnosť vodných pár [%]
P_t	– tepelný výkon prechádzajúci rúnom [W]
P_{td}	– tepelný výkon prechádzajúci dolným materiálom [W]
P_{th}	– tepelný výkon prechádzajúci horným materiálom [W]
P_{tv}	– tepelný výkon prechádzajúci vlhkým rúnom [W]
P_v	– tepelný výkon prechádzajúci vodou [W]
PAD	– polyamid
PES	– polyester
q	– hustota tepelného toku [$W \cdot m^{-2}$]
q_v	– prietok vzduchu [$m^3 \cdot s^{-1}$]
Q	– množstvo prevedeného tepla [J]
resp.	– respektíve
R	– priedušnosť [$m \cdot s^{-1}$]
R_m	– merný tepelný odpor [$m \cdot K \cdot W^{-1}$]
R_t	– tepelný odpor [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
RH	– relatívna vlhkosť [%]
ρ_s	– plošná hmotnosť [$kg \cdot m^{-2}$]
ρ_v	– objemová hmotnosť [$kg \cdot m^{-3}$]
\bar{S}	– stredná kvadratická chyba aritmetického priemeru (Gaussovo rozdelenie)
S	– plocha [m^2]
S_t	– plocha textílie [m^2]
S_{tv}	– celková plocha vlhkej textílie [m^2]
S_v	– plocha vody [m^2]
\check{s}	– šírka rúna i vody [m]
$t_{1-P,N}$	– kvantil Študentovho rozdelenia
t. j.	– to jest

tzn.	– to znamená
T	– teplota vzduchu [K]
T_d	– teplota rosného bodu [K]
T_{do}	– teplota na povrchu dolného meraného materiálu [K]
T_f	– teplota na povrchu výhrevnej špirály [K]
T_{ho}	– teplota na povrchu horného meraného materiálu [K]
ΔT	– teplotný gradient [K]
TUL	– Technická univerzita v Liberci
τ	– čas [s]
v	– celková výška [m]
v_1	– výška rúna [m]
v_2	– výška vody [m]
vs.	– verzus
V	– objem vzduchu [m^3]
V_t	– objem rúna [m^3]
V_{H_2O}	– objem vody [m^3]
x	– merná vlhkosť [$kg \cdot kg^{-1}$]
\bar{x}	– aritmetický priemer
x_i	– namerané hodnoty
X	– skutočná hodnota

Úvod

Žijeme v dobe vyspelej techniky, ktorá nás obklopuje takmer na každom kroku. Životné tempo sa vďaka tomu zrýchľuje a mení sa náš spôsob života. Niet divu, že ľudia túžia po tom, aby sa aspoň cez víkend dostali do prírody a oddýchli si od techniky. Technika nám síce život uľahčuje, no zároveň nám prináša problémy, ako je stres a prepracovanosť.

V poslednom desaťročí sme preto zaznamenali zvýšený záujem o športové aktivity (napr. turistika, horolezectvo, skialpinizmus atď.) vykonávané vo voľnej prírode. Človek sa pri týchto aktivitách zdržiava v prírode nielen cez deň, ale často tam ostáva aj cez noc. V noci teplota klesá aj o viac ako 10 °C a vtedy prichádza potreba chrániť organizmus proti podchladeniu¹. Ako iste všetci vieme, k tomuto účelu slúži spací vak. Jeho hlavnou úlohou je ochrana užívateľa pred nízkymi teplotami. O jeho kvalite z hľadiska tepelnoizolačných vlastností rozhoduje predovšetkým množstvo a druh izolačnej náplne. Tepelnoizolačné vlastnosti sa pri výplnkových materiáloch pre spacie vaky v zásade príliš nelíšia. Lepšie vlastnosti však vykazuje prírodný materiál, akým je perie. Jeho nevýhodou je však navlhavosť, ktorá spôsobuje zhoršenie týchto vlastností, a preto sa do spacích vakov ako výplň častejšie používa rúno zo syntetických vlákien. Syntetické vlákna môžu síce tiež navlhnúť, no vlhkosť sa väčšinou drží na povrchu vlákien. Aby si spací vak plnil svoju funkciu, je potrebné, aby sa zabránilo prenikaniu vlhkosti do rúna z vonkajšieho prostredia. Zároveň je potrebné, aby mal spací vak dobrú priepustnosť

¹ Touto problematikou sa zaoberá Ladislav Sieger v článkoch [23] a [24], ktoré vychádzajú z rozsiahleho výskumu (zmeraných až 100 spacích vakov rôzneho druhu). V článkoch sa píše o výbere vhodného spacieho vaku a o rozdielnosti izolačných vlastností jednotlivých spacích vakov vzhľadom k veku, pohlaviu, výške a hmotnosti užívateľa. Tieto články sú dostupné aj na <<http://www.svetoutdooru.cz/>>.

vodných pár, pretože vlhkosť vyprodukovaná ľudským organizmom sa môže v spacom vaku hromadiť a môže tak ovplyvňovať jeho tepelnoizolačné vlastnosti.

Ako už bolo naznačené vyššie, vlhkosť je jedným z hlavných faktorov, ktoré najviac ovplyvňujú tepelnoizolačné vlastnosti textilných materiálov. Literárny prieskum potvrdil, že tejto problematike sa väčšina vedcov a vedeckých kolektívov začala podrobnejšie venovať až koncom osemdesiatych, resp. začiatkom deväťdesiatych rokov dvadsiateho storočia. Väčšina výskumných prác sa doposiaľ zaoberala predovšetkým vplyvom vlhkosti na izolačné vlastnosti tkanín a pletenín. Za posledných desať rokov sa však objavilo i niekoľko štúdií o vplyve vlhkosti na izolačné vlastnosti spacích vakov. Skúmal sa však iba vplyv vlhkosti na izolačné vlastnosti spacieho vaku ako celku. Vplyvom vlhkosti na izolačné vlastnosti samotnej netkanej textilie (rúna) sa doposiaľ podrobnejšie nezaoberala takmer žiadna práca. Výnimkou je diplomová práca [20] J. Pešoutovej z roku 1988, ktorá sa okrajovo zaoberala aj vplyvom vlhkosti na izolačné vlastnosti rúna.

Z tohto dôvodu som sa rozhodol, že sa vo svojej diplomovej práci budem venovať problematike vplyvu vlhkosti na netkané textílie (rúna) pre spacie vaky. Sám patrím medzi tých, ktorí často využívajú spací vak a zaujíma ma, ako je to vlastne s tepelnoizolačnými vlastnosťami netkaných textílií v spacích vakoch pri rôznom objeme vlhkosti v rúne.

Hlavným cieľom tejto diplomovej práce je posúdenie vplyvu vlhkosti na izolačné vlastnosti rúna pre spacie vaky. Práca obsahuje teoretický úvod do problematiky a literárny prieskum. V praktickej časti je popísaný experiment a teoretický model, s ktorým sa v závere práce porovnávajú výsledky z experimentu. Práca je doplnená piatimi prílohami. Prílohy A, B, C sú súčasťou väzby diplomovej práce a obsahujú experimentálne údaje, štatistické spracovanie nameraných údajov a doplnujúce informácie o rúne. Príloha D obsahuje vzorku použitého rúna. Elektronická podoba diplomovej práce je umiestnená na CD. Príloha D a CD disk sú externými prílohami.

1 Netkané textílie

Jedna z najčastejšie používaných definícií charakterizuje netkané textílie (ďalej len NT), ako vláknovú vrstvu vyrobenú z jednosmerne alebo náhodne orientovaných vlákien, ktoré sú spevnené mechanicky, chemicky alebo termicky ev. kombináciou uvedených spôsobov.

Vláknová vrstva môže byť vyrobená v rôznych hrúbkach, s rôznou orientáciou vlákien a môže mať rôznu pevnosť. V podstate sa jedná o pavučinu, rúno, list alebo spleť. Ako je vidieť, uvedené vláknové vrstvy sú nielen rôznych hrúbok s rôznou orientáciou vlákien, ale pre ich výrobu sú potrebné aj rôzne druhy výrobných technológií. Každá vláknová vrstva má svoje špecifické vlastnosti [5].

Základné pojmy z oblasti NT:

- a) **pavučina** – tenká vláknová vrstva, ktorá je vytvorená z ojednotených vlákien snímaných z mykacieho stroja,
- b) **rúno** – vláknová vrstva vytvorená z chumáčikov alebo jednotlivých vlákien, ktoré sú spojené iba prirodzenou súdržnosťou. Môže byť vytvorené aj vrstvením pavučín z mykacích strojov,
- c) **list** – tenká vláknová vrstva, ktorá je vytvorená z naplavenej suspenzie krátkych vlákien po odstránení kvapaliny,
- d) **spleť** – vláknová vrstva z nekonečných vlákien alebo nití.

Ďalšia definícia upresňuje konkrétny typ výrobkov a to objemné netkané textílie. Tieto NT je možné definovať ako textilné útvary, charakterizované tromi rozmermi (dĺžka, šírka a hrúbka). Hrúbka v tomto prípade predstavuje rozmer, ktorý nie je možné vzhľadom k ostatným rozmerom zanedbať [6].

1.1 Výroba objemových NT

Je nutné podotknúť, že každá technológia výroby NT (či už výroba rúna alebo jeho spevnenie) dodáva výrobku jeho špecifické vlastnosti. Mechanickým spôsobom získavame textílie, ktoré majú síce dobré mechanické vlastnosti, ale ich plošná orientácia vlákien so sebou prináša pomerne malú objemnosť a jednoduchú stlačiteľnosť, vďaka čomu sa zhoršujú tepelnoizolačné vlastnosti.

Vyššia objemnosť sa dosahuje pri výrobe pojených NT a ich vlastnosti ovplyvňuje i podiel adhezív a distribúcie spojov. Avšak ani pri tejto technológii sa nevyhneme vyššie zmieňovanej plošnej orientácii vlákien v rúne, ktorá ovplyvňuje konečné vlastnosti textílie.

Priestorovú orientáciu vlákien je možné dosiahnuť použitím aerodynamickej technológie. Tento typ rozloženia vlákien je označovaný ako náhodný a rozdiel v orientácii vlákien je oproti NT vyrobeným mechanickým spôsobom celkom zásadný [14].

Okrem aerodynamického spôsobu však ešte poznáme technológiu STRUTO. Tato technológia bola vyvinutá na TUL a predstavuje spôsob tvorby rúna kolmým ukladaním pavučiny. Tento spôsob zvyšuje odpor proti opakovanému a dlhotrvajúcemu stlačeniu objemových NT a rúno si tak dlhšie zachováva svoje tepelnoizolačné vlastnosti [6].

Výrobu NT je možné zhrnúť do nasledujúcich technologických stupňov [5]:

- a) príprava vláknových surovín,
- b) príprava vláknových vrstiev,
- c) spevnenie vláknových vrstiev,
- d) úpravy (zušľachtovanie) NT,
- e) konečné spracovanie NT (orezávanie, nabaľovanie, adjustácia).

1.2 Použitie objemových NT

Objemné textilné materiály je možné s úspechom použiť vo väčšine skupín výrobkov vyrábaných z NT. Najčastejšie sa používajú ako:

- a) vložkové materiály (odevy, spacie vaky, prikrývky...),
- b) konštrukčné súčasti odevov a výstužné materiály,
- c) technické izolácie (tepelné i hlukové),
- d) špeciálne druhy filtrov.

Hlavným predpokladom použitia objemových NT v spacích vakoch sú ich tepelnoizolačné vlastnosti, čo najmenšia zmena hrúbky pri mechanickom namáhaní, tvarová stálosť a udržanie týchto vlastností aj pri praní a chemickom čistení [6].

2 Vložkové materiály pre spacie vaky

Vložkový materiál predstavuje jednu z najdôležitejších zložiek v systéme spacieho vaku, pretože jeho tepelnoizolačná schopnosť je daná prevažne kvalitou izolačnej náplne, jeho množstvom a konštrukciou komôr. Kritériom kvality náplne je schopnosť zaujať čo najväčší objem, resp. výšku komôr spacieho vaku v pomyselnom reze. Vlastným izolačným médiom je tu totiž vzduch a perie, resp. syntetické vlákna mu len vytvárajú priestor, ktorý má zaujať. Schopnosť zaujať čo najväčší objem ovplyvňuje tzv. stlačiteľnosť a tvarová stálosť izolačnej náplne [2].

Izolačné náplne delíme na dva základné druhy: prírodné a syntetické. Z prírodných materiálov sa však pre spacie vaky používa iba perie z vodných vtákov. Nižšie zmieňované vlnené rúno sa do spacích vakov nepoužíva, pretože je príliš ťažké a jeho uplatnenie je napr. pri vlnených dekách.

Častejšie sú však pre spacie vaky používané náplne syntetické, t.j. rúna zo syntetických vlákien, pretože sú lacnejšie a ich spracovanie je jednoduchšie, než práca s perím, ktoré je sypké. Tepelnoizolačné vlastnosti sú pri syntetických materiáloch v širokej škále, od nie príliš veľkých až po značne vysoké, ktoré takmer odpovedajú izolačným kvalitám peria vodných vtákov [18].

2.1 Syntetický vložkový materiál

Syntetický vložkový materiál je univerzálnym izolačným materiálom, pretože vo vlhkých podmienkach stráca minimum svojich izolačných schopností. Jeho hlavnou výhodou je nízka absorpcia vlhkosti, s čím súvisí i rýchle vysychanie. Ďalšou z výhod tohto materiálu je i nenáročnosť na údržbu a skladovanie. Syntetické materiály delíme na materiály z dutých vlákien a z mikrovlákien.

2.1.1 Duté vlákna

Duté vlákna sú moderné syntetické vlákna, ktoré majú najmenej jednu pozdĺžnu dutinku, takže každé vlákno je vlastne akási miniatúrna trubička. Priemer vlákna je približne 10 μm , čo znamená, že vlákno je tenšie než ľudský vlas. Priemer dutinky má obvykle tiež cca 10 μm . Ako surovina pre výrobu syntetických vlákien sa najčastejšie používa polyester a polyamid.

Význam dutiny vo vláknach spočíva v odľahčení vlákien, vďaka čomu sa značne znižuje hmotnosť izolačnej náplne (viac než 50 %). Vzduch v rúne z dutých vlákien sa pritom zadržiava rovnakým spôsobom, ako v rúne z vlákien bez dutiniek, t.j. v priestoroch vytvorených medzi jednotlivými vláknami v spleti vlákien. Vzduch je samozrejme prítomný i v dutinách vlákien.

Vlhkosť môžu duté vlákna prijímať ako do svojich dutín, tak i do priestorov medzi jednotlivými vláknami. Aby sa tomu čo najviac zabránilo, povrch vlákien sa upravuje silikónom, ktorý vodu od povrchu vlákien odpudzuje. Úpravu povrchu vlákien silikónom je možné realizovať pri všetkých syntetických vláknach a nielen pri vláknach dutých.

Najčastejšie sa môžeme stretnúť s dutými vláknami s obchodným názvom: Duotherm, Polarguard 3D, Thermolite Extreme, 3M Thinsulate LiteLoft, Quallofil, a pod. Najväčším svetovým výrobcom týchto materiálov je koncern DuPont [18].

2.1.2 Mikrovlákná

Mikrovlákná je druh vlákien, ktoré oproti dutým vláknám využívajú vzduch, ktorý prilieha na jeho povrch a ktorý zadrží mikroskopická štruktúra rúna, čím sa vytvára izolačný efekt. Rúno z mikrovlákn má vysokú tvarovú stálosť a minimálnu navlhavosť. Pri rovnakej hmotnosti obsahuje rúno z mikrovlákien, podstatne viac vlákien ako rúno z klasických, resp. dutých vlákien. Štruktúra vytvorená z týchto vlákien je preto hustejšia i objemnejšia a izolačné vlastnosti sú lepšie o 10 až 50 % (závisí od druhu porovnávaných materiálov). Najznámejšie mikrovlákná pochádzajú od firmy 3M a predávajú sa pod obchodným názvom Thinsulate [26].

2.2 Prírodný vložkový materiál

Medzi prírodné vložkové materiály používané v spacích vakoch patrí perie vodných vtákov. Hlavnou výhodou peria je veľmi dobrá tvarová stálosť, výborná stlačiteľnosť a zachovanie špičkových parametrov pri nízkej hmotnosti. Tento najdokonalejší tepelnoizolačný materiál je predurčený k použitiu do extrémne chladných a suchých podmienok, napr. pre vysokohorskú turistiku. Okrem peria ešte poznáme ovčie rúno, ktoré sa už v súčasnosti nepoužíva.

2.2.1 Perie

Malá hmotnosť pri vysokej tepelnoizolačnej schopnosti, malý transportný objem a dlhá doba životnosti robia z kvalitného peria zatiaľ stále nenahradiateľný materiál.

Najčastejšie sa používa perie husie. Je ale nutné podotknúť, že nie je perie, ako perie. Jeho kvalita závisí na množstve prachového peria i malých pierok a sú to práve čísla 90/10, 80/20 alebo 70/30, ktoré udávajú pomer medzi prachovým perím a malými pierkami. O najkvalitnejšiu zmes ide hneď v prvom prípade, kde sa jedná o náplň s 90% obsahom prachového peria. Použiť iba čisté prachové perie by nebolo praktické, pretože práve vďaka pružným pierkam je možné, aby spací vak rýchlo po rozbalení nabral potrebný objem vzduchu.

Ďalším dôležitým kvalitatívnym údajom je tzv. vzduchová kapacita. Tá vyjadruje celkovú pružnosť a rozpínanosť, t.j. schopnosť peria zaujať maximálny objem. Táto veličina sa meria laboratórne, medzinárodne uznávanou metódou a udáva sa v kubických palcoch (cuin). Čisté prachové perie (100/0) dosahuje hodnoty 400 – 1000 cuin. Zmes 90/10 dosahuje oproti čistému prachovému periu hodnotu nižšiu o 8 % a zmes 70/30 približne o 25 %. Zdanlivo veľké rozmedzie (400 – 1000 cuin) je dané množstvom ďalších kvalitatívnych podmienok, ako je napr. odroda hydiny, spôsob získania peria (jatočná hydina alebo hydina chovaná pre perie) a miesto, kde sa perie získava (hrud' alebo celé telo). Závisí dokonca i na ročnom období, kedy bola hus šklbaná (v zime je perie lepšie) a tiež na zrelosti peria (nesmie byť prezreté a ani nevyzreté).

Je nutné podotknúť, že perie je háklivé na okolitú vlhkosť. Samo o sebe je perie hygroskopické a v bežných podmienkach si v sebe udržuje zhruba 10 až 13 % vody, čo je optimálne. Pokiaľ preschne, stáva sa krehkým a pokiaľ zvlhne, viac sa zľahne [26].

2.2.2 Vlnené rúno

Vlnené rúna sa v súčasnosti už nepoužívajú. Nahradili ich rúna zo syntetických vlákien, ktoré majú pri rovnakej objemnosti niekoľkonásobne nižšiu hmotnosť, nižšiu navlhavosť a kratšiu dobu sušenia.

3 Tepelnoizolačné vlastnosti

Tepelnoizolačné vlastnosti textílií predstavujú podľa normy ČSN 80 0351 schopnosti zabráňovať prestupu tepla. Spolu s priedušnosťou a so schopnosťou prepúšťať vodné pary patria k hlavným fyziologicko-hygienickým vlastnostiam odevu.

Udržanie tepla a ochrana proti chladu, eventuálne vysokým teplotám je jednou z veľmi dôležitých podmienok pre posúdenie tepelnoizolačných vlastností materiálu. Medzi najdôležitejšie tepelnoizolačné vlastnosti patrí: tepelný odpor a tepelná vodivosť. Jednotlivé veličiny totiž spolu úzko súvisia a vzájomne sa ovplyvňujú [19].

3.1 Tepelný odpor

Tepelný odpor je fyzikálna veličina, ktorá určuje mieru, s akou materiál o určitej hrúbke bráni prestupu tepla cez svoju štruktúru. Tepelný odpor je definovaný ako pomer rozdielu teplôt medzi dvomi povrchmi materiálu k tepelnému toku na jednotku plochy, prechádzajúcemu v ustálenom stave daným materiálom v smere teplotného gradientu. Tepelný odpor je teda definovaný vzťahom [18]:

$$R_t = \frac{(T_2 - T_1)}{q} = \frac{\Delta T}{q} \quad (3.1)$$

kde: R_t – tepelný odpor [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
 ΔT – teplotný gradient [K] , kde $T_2 > T_1$
 q – hustota tepelného toku [$W \cdot m^{-2}$]

Tepelný odpor je možné tiež vyjadriť výrazom:

$$R_t = S \frac{(T_2 - T_1)}{P} = S \frac{\Delta T}{P} \quad (3.2)$$

kde: R_t – tepelný odpor [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
 S – plocha [m^2]
 ΔT – teplotný gradient [K] , kde $T_2 > T_1$
 P – tepelný výkon [W]

Tepelný odpor sa spravidla udáva pre materiály, ktoré majú geometrický tvar dosky alebo steny, t.j. ich hrúbka je výrazne menšia, než ich priečne rozmery. Tepelný odpor nie je materiálová konštanta, pretože je závislý od hrúbky daného materiálu, s ktorou lineárne rastie. Ak položíme na seba dve dosky s tepelnými odpormi R_{t1} a R_{t2} , tepelný odpor obidvoch dosiek je daný súčtom parciálnych tepelných odporov, t.j. ($R_{t1} + R_{t2}$). Tepelným odporom sú obvykle charakterizované tepelnoizolačné vlastnosti dosiek, stien, textílií, popr. iných plošných útvarov, ktoré sa vyrábajú v určitých prevedeniach s definovanou hrúbkou a ktoré sa pri svojom použití spravidla vrstvia na seba. Výhodou je, že tepelný odpor akéhokoľvek vrstveného kompletu je možné vypočítať súčtom tepelných odporov jednotlivých vrstiev [18].

3.2 Merný tepelný odpor

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole, tepelný odpor je závislý od hrúbky daného materiálu, a preto nie je možné porovnávať tepelný odpor u rôznych materiálov z rozličnou hrúbkou. Aby to bolo možné, zaviedla sa veličina „merný tepelný odpor“, ktorá určuje mieru, s akou materiál o hrúbke jeden meter bráni prestupu tepla cez svoju štruktúru.

$$R_m = \frac{1}{h} R_t \quad (3.3)$$

kde: R_m – merný tepelný odpor [$m \cdot K \cdot W^{-1}$]
 R_t – tepelný odpor [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
 h – hrúbka [m]

3.3 Tepelná vodivosť

Tepelná vodivosť je vyjadrená súčiniteľom tepelnej vodivosti, ktorý udáva schopnosť látky viesť teplo. Predstavuje množstvo tepla, ktoré v ustálenom stave prechádza jednotkovým prierezom plochy pri jednotkovom teplotnom gradiente za jednotku času. Tepelná vodivosť závisí od mnohých faktorov, napr. od štruktúry látok, od hustoty, od tlaku, od vlhkosti a samozrejme tiež od teploty.

V prípade rovinnej steny, akou sú textilné materiály s hrúbkou h a konštantnými teplotami T_1 a T_2 , kde $T_1 > T_2$, potom teplo prestupuje z povrchu s vyššou teplotou na povrch s teplotou nižšou a po určitej dobe dochádza k rovnovážnemu stavu. Pre súčiniteľ tepelnej vodivosti λ platí vzťah [18]:

$$Q = \lambda \frac{S(T_2 - T_1)\tau}{h} = \lambda \frac{S(\Delta T)\tau}{h} \quad (3.4)$$

kde: Q – množstvo prevedeného tepla [J]
 λ – tepelná vodivosť [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 S – plocha [m^2]
 ΔT – teplotný gradient [K], kde $T_2 > T_1$
 τ – čas [s]
 h – hrúbka [m]

Na rozdiel od tepelného odporu je tepelná vodivosť materiálová konštanta, pretože je pre daný materiál stále rovnaká, nezávisle na hrúbke tohto materiálu. Pre tepelnú

vodivosť materiálu však neplatí, že výsledná tepelná vodivosť dvoch k sebe priliehajúcich materiálov je súčtom parciálnych tepelných vodivostí týchto materiálov [18].

Prepočtový vzťah medzi tepelnou vodivosťou a tepelným odporom je:

$$R_t = \frac{1}{\lambda} h \quad (3.5)$$

kde: R_t – tepelný odpor [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
 λ – tepelná vodivosť [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 h – hrúbka [m]

4 Prenos tepla

Zaoberá sa javmi, ktoré súvisia so šírením tepla a je súčasťou termomechaniky. Pri prenose tepla platí pravidlo, ktoré hovorí, že teplo sa vždy prenáša iba z látky s vyššou teplotou na látku s teplotou nižšou. V podstate sa jedná o prenos časti energie rýchlejšie sa pohybujúcich molekúl na molekuly pohybujúce sa pomalšie. Rýchlejšie molekuly sa o niečo spomalia a pomalšie sa zas o niečo zrýchlia.

Zdieľanie tepla môže v praxi prebiehať rôznymi spôsobmi. V tejto kapitole však budú uvedené a popísané iba tri základné spôsoby prenosu tepla [9]:

- a) vedenie (kondukcia),
- b) prúdenie (konvekcia),
- c) sálanie (radiácia).

Prenos tepla v textilných materiáloch funguje na princípe kondukcie tepla vláknami a vzduchom uzavretým v textílii. Šírenie tepla prúdením a sálanie je teda v textilnom materiáli zanedbateľné.

4.1 Vedenie (kondukcia)

Prenos tepla kondukciou sa deje kmitaním atómov a ďalších častíc v štruktúre látky, ktoré je vybudené prijatou tepelnou energiou a ktoré sa v danej látke šíri v smere od teplejšieho miesta k chladnejšiemu. Spravidla platí, že čím bližšie sú pri sebe atómy danej látky, t.j. čím väčšiu hustotu má látka, tým ľahšie sa prenášajú zmeny vnútornej kinetickej energie vo vnútri látky a tým je daná látka lepším tepelným vodičom. Pretože sa do schopnosti látky viesť teplo premietajú aj ďalšie vlastnosti látky, nie je to jediný určujúci faktor.

V prípade spacích vakov chceme prenosu tepla vedením čo najviac zabrániť, a preto kladieme dôraz na izolačnú náplň, ktorá by mala mať čo najmenšiu tepelnú vodivosť. Ako vyplýva z vyššie uvedeného textu, najlepším izolačným materiálom je látka, ktorá má najmenšiu hustotu. Najlepším tepelným izolantom je teda vákuum (pozri tabuľku č.1), v prípade spacieho vaku však pripadá do úvahy, ako najlepší tepelný izolant vzduch [18].

Tabuľka č.1: Tepelná vodivosť vybraných látok [22]

Materiál	Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W·m⁻¹·K⁻¹]
Vákuum	0
Suchý vzduch	0,024
Polystyrén	0,040
Náplň spacieho vaku (perie, syntetické vlákna)	0,050 - 0,070
Sneh	0,12 - 1,3
Voda	0,597
L'ad	2,2

Vlastným tepelnoizolačným médiom v náplni spacieho vaku je preto vzduch, ktorý je veľmi dobrý tepelný izolant. Základnou funkciou izolačnej náplne je preto vytvoriť vo svojej mikroštruktúre čo najväčší priestor, ktorý by mohol vyplniť vzduch. Z tohto hľadiska by sa mohlo zdať, že najlepším riešením by bolo, keby bola tepelná izolácia tvorená iba samotným vzduchom. Avšak v takomto prípade by sa začal významne uplatňovať prenos tepla prúdením (stúpajúci teplý vzduch by bol nahradzovaný studeným vzduchom), vďaka čomu by sa nevyužil veľký tepelný odpor vzduchu. Z tohto dôvodu je preto potrebné zabrániť vzduchu v pohybe. Riešením je uzatvorenie vzduchu v mikrodutinách. Izolačný materiál je totiž tvorený spleťou syntetických, popr. prírodných vlákien, medzi ktorými sa tvoria uzavreté vzduchové priestory. Cieľom je pritom, aby objem vzduchu uzavretého v každej mikrodutine bol čo najmenší, pretože čím menšia bude cirkulácia vzduchu vo vnútri dutiny, tým menší bude prenos tepla prúdením cez dutinu. Aby mohli byť mikrodutiny čo najmenšie, rúno musí byť tvorené najjemnejšími vláknami s najmenším možným priemerom. Prirodzene, čím menší bude priemer vlákien, tým viac bude vlákien v rúne. Menší priemer vlákien vedie nielen k zvýšeniu počtu vlákien v rúne, ale aj k zvýšeniu hmotnosti celej izolačnej náplne, čo môže viesť k zvýšeniu pomeru celkového objemu vlákien k celkovému objemu

uzavretého vzduchu. Práve tento pomer by mal zostať čo najmenší, pretože hlavným izolačným médiom je vzduch a nie látka, z ktorej sú vyrobené vlákna. Toto však závisí od toho, ako je rúno zhotovené a aké veľkosti mikroductín sa zachovávajú v spleti vlákien.

Je nutné podotknúť, že k javu, keď sa objem mikroductín zníži na minimum a keď je tepelný odpor náplne daný prevažne tepelným odporom látky, z ktorej je zhotovené rúno, dôjde až vtedy, keď je izolačná náplň stlačená silou. To nastáva napríklad v miestach, kde telo prilieha spací vak k zemi. Pretože je v týchto miestach znížený tepelný odpor izolačnej náplne, je potrebné pod spací vak vkladať tepelnoizolačnú podložku (karimatku), ktorá v týchto miestach zaistí zvýšenie tepelného odporu. K stlačeniu izolačnej náplne však dochádza aj vtedy, keď je spací vak zbalený v obale. Izolačná náplň musí mať preto určitú pružnosť, aby po vybalení bola schopná rýchlo expandovať a aby mohla zaujať svoj pôvodný objem. Súčasne je dôležité, aby sa táto expanzívna schopnosť náplne znižovala s časom čo najmenej, čiže aby sa náplň pokiaľ možno "nezláhla", pretože tým by sa opäť zvyšoval pomer celkového objemu vlákien k celkovému objemu uzavretého vzduchu, ktorý by viedol k zmenšeniu tepelnoizolačných vlastností náplne. Častou nevýhodnou vlastnosťou izolačných náplní tvorených veľmi jemnou spleťou vlákien je práve to, že sú málo pružné, časom sa "zlahnú" a tým strácajú svoje výborné tepelnoizolačné vlastnosti skôr, ako náplne tvorené zo spleti vlákien o menšej jemnosti.

Tepelné straty spôsobené vedením cez materiál izolačnej náplne môžu pri vlhkej náplni činiť 40 – 60 % z celkovej tepelnej straty. Strata tepla vedením cez vlákna je pri ľahkých a moderných syntetických materiáloch zanedbateľná. Činí menej než 1 % tepelných strát, ktoré idú cez vzduchovú časť náplne [18].

4.2 Prúdenie (konvekcia)

Prenos tepla prúdením nastáva vtedy, ak sú častice ohriatej látky nahradzované chladnejšími časticami, napríklad v dôsledku zmeny hustoty látky po jej ohriatí. V našom prípade je médiom, pri ktorom sa konvekcia môže uplatniť, vzduch. Ohriaty vzduch vo vnútri spacieho vaku má tendenciu stúpať hore a byť nahradzovaný chladnejším vzduchom zdola. Jeho prestupu cez náplň spacieho vaku však bráni predovšetkým

vnútorný poťahový materiál spacieho vaku. Vlastná izolačná náplň prúdeniu vzduchu príliš nebráni, čo je možné jednoducho dokázať tým, že ju možno bez problémov "prefúknuť".

Prúdenie vzduchu cez stenu spacieho vaku a tomu odpovedajúci odvod tepla môže byť spôsobený aj vetrom. Preto je dôležité, aby vonkajší poťahový materiál spacieho vaku bránil prestupu vzduchu, čím sa prakticky vylúčia straty tepla prúdením spôsobené vetrom, ktorý by prefúkol stenu spacieho vaku. Tepelné straty spôsobené prúdením vzduchu stenou spacieho vaku sa pohybujú do 5 % z celkovej tepelnej straty. V prípade podpory týchto tepelných strát vetrom a pri použití nevhodného poťahového materiálu môžu činiť takto spôsobené straty až 30 % z celkovej tepelnej straty spacieho vaku [18].

4.3 Sálanie (radiácia)

Každé teleso, ktorého teplota je vyššia než 0 K, vyžaruje svojím povrchom tepelnú energiu vo forme elektromagnetického žiarenia. Tento spôsob šírenia tepla nazývame sálanie.

Tepelné žiarenie sa v priehľadnom prostredí šíri priamočiarno, všetkými smermi a rešpektuje zákony geometrickej optiky. Pri dopade tepelného žiarenia na teleso čiastočne priepustné sa časť energie od telesa odrazí, časť energia teleso pohltí a časť energie telesom prejde. Preto rozoznávame telesá so štyrmi možnými povrchmi. Teleso s absolútne čiernym povrchom všetku energiu pohltí, nič neodrazí a nič neprepustí. Teleso s absolútne bielym povrchom všetku energiu odrazí, nič nepohltí a nič neprepustí. Teleso s absolútne priepustným povrchom všetku energiu prepustí, nič neodrazí a nič nepohltí. Všeobecné teleso, ktoré nemá povrch pripomínajúci vyššie zmieňované telesá sa nazýva telesom so šedým povrchom.

Dôležité je tiež, akej vlnovej dĺžky je elektromagnetické žiarenie, ktoré dopadá na dané šedé teleso (tepelné žiarenie produkované ľudským telom má maximum svojej intenzity pri vlnovej dĺžke odpovedajúcej infračervenému žiareniu). Šedé teleso sa môže pri rôznych vlnových dĺžkach chovať z hľadiska pohltivosti, odrazivosti a priepustnosti žiarenia rôzne. Napríklad biely papier dobre odráža viditeľné žiarenie, ale silne pohlcuje infračervené žiarenie. Okenné sklo dobre prepúšťa viditeľné žiarenie, ale pohlcuje ultra-

fialové a infračervené žiarenie. Ebonit je priepustný pre infračervené žiarenie, ale nepriepustný pre žiarenie viditeľné.

Dôležitou informáciou je tiež to, že tepelné straty spôsobené sálaním, ako bolo uvedené vyššie, sú v prípade spacích vakov zanedbateľné [18].

5 Vplyv vlhkosti

5.1 Vlhkosť vzduchu

Pod pojmom vlhký vzduch sa rozumie zmes suchého vzduchu a vodných pár. Niekedy je voda vo vzduchu obsiahnutá tiež v skondenzovanej forme (hmlový vzduch), eventuálne v kryštálikoch ľadu. Voda je v tomto prípade vo dvoch fázach, ide teda o heterogénnu zmes.

Svojimi vlastnosťami sa vzduch (ako suchý, tak vlhký) blíži ideálnemu plynu, pre ktorý platí stavová rovnica a Daltonov zákon. Daltonov zákon hovorí, že v zmesi plynov sa každá zložka chová tak, akoby daný priestor za rovnakých podmienok vyplňovala sama a to pri svojom parciálnom tlaku. Druhým aspektom Daltonovho zákona je, že celkový tlak zmesi je daný súčtom parciálnych tlakov všetkých zložiek. V našom prípade tak môžeme povedať, že statický tlak vlhkého vzduchu je rovný súčtu parciálneho tlaku suchého vzduchu a parciálneho tlaku vodných pár.

Pre vyjadrenie množstva vodných pár vo vzduchu slúži hneď niekoľko charakteristík: tlak vodnej pary, absolútna vlhkosť vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, merná vlhkosť vzduchu a rosný bod [17].

5.1.1 Tlak vodnej pary

Rozlišujeme parciálny tlak vodnej pary a tlak nasýtenej vodnej pary [1]:

- a) Parciálny tlak vodnej pary (p_w) je tlak vytvorený vodnou parou nachádzajúcou sa vo vzduchu alebo v plyne.
- b) Tlak nasýtenej vodnej pary (p_{ws}) je maximálny tlak, aký môže vodná para vytvoriť pri danej teplote. Čím vyššia je teplota, tým viac vodnej pary je vzduch schopný absorbovať.

5.1.2 Absolútna vlhkosť

Absolútna vlhkosť (a) predstavuje množstvo vody v jednotkovom objeme vlhkého vzduchu pri danej teplote a tlaku. Zvyčajne sa udáva v gramoch na kubický meter vzduchu. Niekedy sa nesprávne zamieňa s mernou vlhkosťou (x) [1].

$$a = \frac{m_h}{V} \quad (5.1)$$

kde: a – absolútna vlhkosť [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 m_h – hmotnosť vodnej pary [kg]
 V – objem vzduchu [m^3]

5.1.3 Relatívna vlhkosť

Predstavuje pomer parciálneho tlaku vodnej pary (p_w) a tlaku nasýtenej vodnej pary (p_{ws}) pri danej teplote. Udáva sa v percentách a je silne teplotne závislá. Napríklad pri ohriatí vzduchu o 20 °C sa jeho kapacita absorbovať vodnú paru zvýši približne na dvojnásobok, t.j. relatívna vlhkosť klesne na polovicu. Veľký vplyv na relatívnu vlhkosť má taktiež tlak [1].

$$RH = \frac{p_w}{p_{ws}} 100\% \quad (5.2)$$

kde: RH – relatívna vlhkosť [%]
 p_w – parciálny tlak vodnej pary [Pa]
 p_{ws} – tlak nasýtenej vodnej pary [Pa]

Vzhľadom k tomu, že množstvo sýtych pár závisí predovšetkým od teploty vzduchu, mení sa relatívna vlhkosť vzduchu s jeho teplotou aj napriek tomu, že absolútne množstvo vodných pár zostáva rovnaké. Táto vlastnosť má veľký význam pri tvorbe počasia [17].

5.1.4 Merná vlhkosť

Udáva hmotnosť vodnej pary v gramoch, pripadajúcej na jeden kilogram suchého vzduchu. Spolu s relatívnou vlhkosťou je toto určenie vlhkosti vzduchu najbežnejšie. Merná vlhkosť je určená pomerom hmotnosti vodnej pary obsiahnutej vo vzduchu a hmotnosti suchého vzduchu [17]:

$$x = \frac{m_h}{m_a} \quad (5.3)$$

kde: x – merná vlhkosť [$kg \cdot kg^{-1}$]
 m_h – hmotnosť vodnej pary [kg]
 m_a – hmotnosť suchého vzduchu [kg]

5.1.5 Rosný bod

Predstavuje teplotu, pri ktorej sú pary vo vzduchu pri izobarickom ochladzovaní nasýtené a dochádza k ich kondenzácii, t.j. vytvára sa rosa. Pri 100% relatívnej vlhkosti je teda teplota okolia zároveň aj teplotou rosného bodu (T_d). Čím je hodnota rosného bodu zápornejšia voči okolitej teplote, tým je riziko kondenzovania vody nižšie a tým je daný plyn suchší. Rosný bod nie je teplotne závislý, závisí však od tlaku. [1].

5.1.6 Meranie vlhkosti vzduchu

Najrozšírenejšou metódou merania vlhkosti vzduchu je psychrometrická metóda. Vlhkosť vzduchu sa stanovuje z údajov dvoch teplomerov, z ktorých jeden, tzv. mokrý teplomer je zvlhčený vodou a druhý udáva teplotu vzduchu. Čím menšia je relatívna

vlhkosť, tým intenzívnejšie sa odparuje voda z „mokrého teplomeru“ a tým väčší je rozdiel medzi údajmi oboch teplomerov. Z tohto rozdielu teplôt sa potom podľa tabuliek určuje tlak vodnej pary vo vzduchu a z neho relatívna vlhkosť [8].

5.2 Pohlcovanie vlhkosti textilným materiálom

Pohlcovanie vlhkosti textilným materiálom závisí na type vlákien a na ich chemickom zložení, čo má najväčší vplyv na množstvo pohlcovanej vlhkosti a ďalej na rýchlosť, mechaniku a kinetiku sorpcie.

5.2.1 Sorpčné vlastnosti

Textilné vlákna sú schopné za určitých podmienok prijímať do svojej štruktúry určité množstvá plynov, pár, kvapalín alebo roztokov. Kvantita, rýchlosť, mechanizmus i druh väzieb medzi sorbentom a sorbovanou látkou, sprievodné javy a analýza sorpcie sú dané podmienkami sorpcie.

Pri zohľadnení všetkých popísaných podmienok nie je možné komplexné vyjadrenie sorpčných vlastností. Uvedené ukážky sa riešia parciálne podľa účelu skúmania sorpcie a jej vlastností. Sorpciu a sorpčné vlastnosti textilných vlákien môžeme hodnotiť z nasledujúcich hľadísk [11]:

- a) faktory podmieňujúce sorpciu,
- b) mechanizmus sorpcie,
- c) kinetika sorpcie,
- d) sprievodné javy sorpcie,
- e) vplyv štruktúry na sorpciu,
- f) stanovenie sorpcie.

5.2.2 Hydromechanické vlastnosti

Hygroskopickosť je schopnosť materiálu pohlcovať vlhkosť zo vzduchu. Zisťuje sa z pomeru hmotnosti vody pohltenej materiálom pri určitej teplote a relatívnej vlhkosti vzduchu k hmotnosti suchého materiálu. Vyjadruje sa v percentách a súvisí so sorpčnými vlastnosťami. Rovnomerne a pomaly pohlcujú vodu napr. vlnené materiály. Syntetické materiály vodu naopak takmer nepohlcujú.

Hygroskopickosť je závislá na hrúbke, hustote a vlastnostiach vlákien. Ovplyvňuje rýchlosť pohlcovania vlhkosti a vysychania (dôležité pri sušení). Čím hustejšie a hrubšie sú textílie, tým pomalšie nasávajú a púšťajú vodu, lepšie zaisťujú stálosť vlhkosti a tepla vzdušnej vrstvy medzi odevom a telom, ale pomalšie schnú.

Vzlínavosť je schopnosť textilných materiálov pohlcovať vodu z priestoru pod odevom a je závislá na ich pórovitosti. Veľká vzlínavosť môže v niektorých prípadoch do istej miery kompenzovať nízke hodnoty navlhavosti. Toto sa deje dosiahnutím vyššej pórovitosti pri syntetických materiáloch napr. tvarovanými vláknami.

Priepustnosť vodných pár je schopnosť prepúšťať vodu v podobe vodných pár. Jej stanovenie spočíva v množstve vody, ktoré prešlo vrstvou materiálu, na ktorého oboch stranách bola rozdielna vlhkosť. Priepustnosť syntetických materiálov závisí od ich hustoty [12].

5.2.3 Tok vlhkosti

Textília slúži ako bariéra medzi dvoma prostrediami s rôznou relatívnou vlhkosťou. Hnacia sila toku vlhkosti pôsobí cez textíliu z prostredia s vyššou relatívnou vlhkosťou do prostredia s nižšou relatívnou vlhkosťou. Podľa druhu textilného materiálu existujú rôzne spôsoby toku vlhkosti.

Textília s vysokou hodnotou toku vlhkosti v ustálenom stave je vhodná pre teplé a vlhké prostredie. Pre chladné prostredie sú nutné nižšie hodnoty toku vlhkosti pre lepšiu izoláciu. Transport vlhkosti je závislý od pórovitosti textílie a difúzie vody vláknovou vrstvou [21].

5.3 Vplyv vlhkosti na typy vlákien

Všetky prírodné a syntetické vlákna sa pri kontakte s vodou chovajú rôzne. Pod vplyvom vlhkosti môže u textilných vlákien dochádzať napríklad k zmenám pevnosti a ťažnosti, ako uvádza Havelka [11].

- a) ***Vplyv vlhkosti na celulóзовé vlákna*** – celulóзовé vlákna absorbujú také množstvo vlhkosti, že ich pevnosť a ťažnosť je na množstve vody závislá. Navlhavosť pri bavlně sa za normálnych podmienok pohybuje na hranici 7 %.
- b) ***Vplyv vlhkosti na polyamidové vlákna*** – polyamidové vlákna obsahujú za normálnych podmienok ($RH = 65\%$) menej vlhkosti ako vlákna celulóзовé. Navlhavosť sa pohybuje v rozmedzí 1,2 – 4,5 % v závislosti od typu polyamidu. Výnimkou je PAD (4), ktorý má výbornú navlhavosť podobnú celulóзовým vláknam. Pod vplyvom vlhkosti vlákien dochádza k napučíavaniu a k poklesu pevnosti a ťažnosti.
- c) ***Vplyv vlhkosti na polyesterové vlákna*** – polyesterové vlákna absorbujú tak malé množstvo vlhkosti, že ich pevnosť ani ťažnosť to neovplyvňuje. Navlhavosť sa za normálnych podmienok pohybuje v rozmedzí 0,3 - 0,4 %. Vlákna vytvárajú elektrostatický náboj a preto je pri ich spracovaní nutné vytvárať vyššiu relatívnu vlhkosť vzduchu vo výrobe.

6 Vplyv ostatných faktorov

Tepelnoizolačné vlastnosti textílií (ako ich definuje ČSN 800351) sú schopné zabrániť prestupu tepla a patria k dôležitým parametrom textílií. Okrem vlhkosti má však na tieto vlastnosti vplyv i celý rad ďalších vonkajších a vnútorných vplyvov, ako sú napr. jemnosť vlákien, stlačiteľnosť, zaplnenie, atď.

6.1 Jemnosť vlákien

Najmenšiu tepelnú vodivosť a naopak najväčší tepelný odpor majú materiály z veľmi jemných vlákien. Ich použitím získame v textílii veľký počet uzavretých pórov. Použitím vlákien s kruhovým prierezom, ktoré zaistia dostatočnú odolnosť proti stlačeniu, sa tepelný odpor znižuje. Aby výrobok plnil svoje tepelnoizolačné funkcie a vyhovoval aj z hľadiska vlastností podstatných pri namáhaní, je vždy nutné zaistiť optimálne zloženie vláknovej zmesi [5].

6.2 Zaplnenie

Od zaplnenia závisí podiel textílie pripadajúci na medzivláknové priestory. Ten priamo ovplyvňuje tepelnoizolačné vlastnosti textílií. Schopnosť izolovať závisí od parametrov vlákien, ich počtu, tvaru a od technológie spracovania. Použitie krátkych, jemných a skučeravených vlákien vedie k veľkému počtu uzavretých pórov vyplnených vzduchom. Voľbou technológie pri výrobe rúna zas možno ovplyvniť rozloženie vlákien v priestore [29].

6.3 Priedušnosť

Priedušnosť sa charakterizuje koeficientom, ktorý udáva, aké množstvo vzduchu prejde danou plochou materiálu za stanovený čas pri tlakovom spáde medzi dvomi stranami vzorky. Je závislá od hrúbky, od objemovej hmotnosti, od vlhkosti, od počtu vrstiev materiálu a od hrúbky vzduchových vrstiev medzi jednotlivými vrstvami materiálu.

S rastom vlhkosti sa priedušnosť znižuje. Je to spôsobené zaplnením pórov vodou a napučaním vlákien, ktoré bránia priechodu vzduchu materiálom. Z toho vyplýva, že pri vláknových vrstvách, ktoré veľmi málo napučiavajú, by zvyšujúca sa vlhkosť nemala mať vplyv na priedušnosť [15].

6.4 Stlačiteľnosť

Stlačenie textílie má veľmi podstatný vplyv na jej tepelnoizolačné vlastnosti. Hrúbka vrstvy, objemová hmotnosť, tvar, štruktúra materiálu a veľkosť medzivláknových priestorov, všetky tieto veličiny stlačenie textílií výrazne ovplyvňujú. Všeobecne možno povedať, že so zaťažovaním textílie klesá jej hrúbka a s ňou aj tepelný odpor. Možným riešením je použitie hrubých vlákien, ktoré zaistia dostatočnú odolnosť proti stlačeniu. Tá však na druhej strane nepriaznivo ovplyvňuje izolačné vlastnosti textílií, pretože sa v materiáli nevytvárajú dostatočné množstvá uzavretých pórov, ako v prípade použitia jemných vlákien [29].

6.5 Tepelný tok

Tepelný tok paralelný s orientáciou prevažnej väčšiny vlákien spôsobuje vyššiu tepelnú vodivosť než tepelný tok kolmý na vlákna. Súbežne s vláknom sa tvorí súvislá vodivá vrstva, zatiaľ čo pri kolmom toku tepla je táto vodivá vrstva prerušovaná vzduchovými medzerami. Textílie s prevažnou orientáciou vlákien kolmo k tepelnému toku majú výhodnejšie izolačné vlastnosti než textílie s vláknami rovnomerne rozptýlenými vo všetkých smeroch a ešte výhodnejšie ako textílie s vláknami usporiadanými rovno-bežne s tepelným tokom [16].

7 Literárna rešerš

7.1 Technické informácie

Literárna rešerš na tému „Vplyv vlhkosti na izolačné vlastnosti rúna pre spacie vaky“ bola vypracovaná pomocou internetových služieb. K vyhľadávaniu boli použité informačné zdroje prístupné v sieti Univerzitetnej knižnice TUL: Knovel, ProQuest, Science Direct, Springer Link, Web of Knowledge a pod.

Pre vyhľadávanie v databázach boli použité tieto kľúčové slová: spací pytel, rouno, vlhkosť, tepelná izolácia, tepelně-izolační vlastnosti, tepelný komfort, sleeping bag, flea-bag, fleece, web, woollfell, thermal insulation, thermal insulating properties, frost protection, thermal comfort, heat insulating, humidity, dampness, moisture accumulation.

7.2 Odkazy na zaujímavé publikácie

- 1.) **KOPECKÝ, V.** *Vliv teploty a vlhkosti na tepelný odpor spacích pytlů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilná, 1997. Diplomová práca.

Táto diplomová práca sa zaoberá problémom vplyvu teploty a vlhkosti na tepelný odpor spacích vakov a jej hlavnou úlohou bolo spresnenie metódy pre zisťovanie tepelného odporu spacích vakov. Merania boli prevedené v prírode pri reálnych klimatických podmienkach a v klimatizačnej komore.

V závere sa konštatuje, že merania v reálnych prírodných podmienkach potvrdili, že so stúpajúcou vlhkosťou sa mení aj tepelný odpor spacieho vaku.

Autor ďalej popisuje vplyv dvoch druhov vlhkosti na tepelný odpor spacieho vaku. Prvou je relatívna vlhkosť, ktorá má zanedbateľný vplyv na tepelnoizolačné

vlastnosti. Druhou je vlhkosť kondenzujúca v spacom vaku, ktorá má významný vplyv na zmenu tepelného odporu. Výsledky z meraní v klimatizačnej komore autor neuvádza kvôli poruche klimatizačnej komory.

V práci sa ešte konštatuje, že so zvyšujúcou sa teplotou okolia sa zvyšuje aj tepelný odpor spacieho vaku.

- 2.) **FRÖHLICHOVÁ, A.** *Vliv vlhkosti na tepelně-izolační vlastnosti tkanin pro pracovní oděvy*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilná, 2006.

Podstatou tejto diplomovej práce bolo zistiť ako sa menia hodnoty tepelnej vodivosti s rastúcim zvlhčením textílie (do úvahy bol braný aj vplyv materiálového zloženia a parametre textílie, ako je napr. štruktúra tkaniny).

V závere sa konštatuje, že so vzrastajúcou vlhkosťou v tkaninách sa hodnoty ich tepelnej vodivosti zvyšujú. Toto sa deje z dôvodu nahradzovania vzduchu obsiahnutého v medzivláknových priestoroch vodou.

Ďalej sa píše, že štruktúra tkaniny má výraznejší vplyv na nárast tepelnej vodivosti než podiel hydrofóbných a hydrofilných vlákien. Výrazný vplyv na izolačné vlastnosti má aj jemnosť vlákien a priadze.

- 3.) **PEŠOUTOVÁ, J.** *Vliv materiálu, hustoty a vlhkosti tepelně izolačního výplňkového rouna na jeho tepelné vlastnosti*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilná, 1988. Diplomová práca.

Táto diplomová práca sa zaoberá meraním tepelnej vodivosti a tepelnej prijmavosti výplnkových netkaných textílií a popisuje vplyv materiálu, jeho hustoty a vlhkosti na tieto tepelné vlastnosti.

V závere sa konštatuje, že vplyv vlhkosti na tepelnoizolačné vlastnosti sa prejavuje u rôznych vláknových materiálov rozlične. Syntetické vlákna sú nenavlhavé: vlhkosť v rúne je obsiahnutá iba v medzivláknových priestoroch a na tepelnoizolačných vlastnostiach sa prejavuje minimálne. Vlákna z prírodných materiálov sú navlhavé: vlhkosť je obsiahnutá nielen v medzivláknových priestoroch, ale aj vo vláknach, čo sa výraznejšie prejavuje aj na izolačných vlastnostiach rúna.

Ďalej sa píše, že vplyv vlhkosti má výraznejší vplyv na tepelnú prijímateľnosť, ktorá je závislá na fyzikálnych podmienkach, ako je vlhkosť a teplota.

- 4.) **JINTU FUN., XIAOMING QIAN.** *New functions and applications of Walter, the sweating fabric manikin.* European Journal of Applied Physiology. Springer Berlin/Heidelberg: Sep 2004. vol. 92, no. 6, s. 641 – 644. ISSN: 1439-6327

Tento článok síce nepatrí medzi najnovšie práce z oblasti termálnych manekýnov, ale pre potreby tejto diplomovej práce celkom postačuje. Pre väčší prehľad v tejto problematike je vhodné si preštudovať novšie publikácie (napr. zborník *Thermal manikins and modeling* – Jintu Fan, 2006), popr. ďalšie práce od vyššie uvedených autorov.

Článok sa zaoberá funkciami a využitím termálnych potných manekýnov v oblasti textilu. Popisuje vylepšenia a modernizáciu manekýna (zlepšenie simulácie pohybu, automatizácia dodávky vody, reálne meranie množstva odparovanej vody a regulácia teploty pokožky manekýna). Ďalej článok popisuje využitie manekýna pri experimente pre výskum efektu pohybu (chôdze) na tepelnú izoláciu a paropriepustnosť odevu.

- 5.) **CAMENZIND, M., WEDER, M., HARTOG, E. DEN.** *Influence of body moisture on the thermal insulation of sleeping bags.* EMPA, 2002.

Toto štúdiu sa zaoberá vplyvom telesnej vlhkosti na izolačné vlastnosti spacích vakov v extrémnych podmienkach (teploty pod – 30 °C).

Na základe subjektívnych testov s človekom a na základe objektívnych testov so špecializovanou aparátúrou (potiace sa torzo) boli prijaté tieto závery: Telesná vlhkosť vyprodukovaná človekom pri veľmi nízkych teplotách v spacom vaku kondenzuje, mrzne a ľad, ktorý tak vzniká medzi spacím vakom a izolačnou podložkou výrazne ovplyvňuje jeho izolačné vlastnosti. Testy preukázali, že už pri teplote – 20 °C dochádza k prekročeniu limitu, ktorý charakterizuje pohodlný spánok. Článok ďalej popisuje spôsob uvádzania informácií o použiteľnosti spacích vakov výrobcami a porovnáva výsledky meraní a počítačových modelov.

Na záver sa konštatuje, že je nevyhnutné, aby sa aj naďalej pokračovalo vo výskume v oblasti simulácie prestupu tepla a vlhkosti cez komplex kompozitných textilných vrstiev.

- 6.) **ELIZABETH A. McCULLOUGH.** *The use of thermal manikins to evaluate clothing and environmental factors.* Elsevier Ergonomics Book Series. 2005, vol. 3, s. 403 – 407.

Tento článok sa zaoberá využitím termálnych manekýnov pre fyziologický experiment. Popisuje využitie rôznych druhov manekýnov (stojaci, sediaci, ležiaci resp. chodiaci manekýn) pri testovaní ochranných odevov akými sú napr. odevy pre hasičov a vojakov.

Ďalej sa zaoberá využitím manekýnov pri experimentoch s ochrannými odevmi do extrémnych klimatických podmienok, kde kvôli bezpečnosti nie je možné využiť ľudský subjekt.

7.3 Vyhodnotenie získaných informácií

Z literárnej rešerše vyplynulo, že výskum týkajúci sa vplyvu vlhkosti na tepelnoizolačné vlastnosti je v textilnej oblasti pomerne novou záležitosťou. Približne 90 % všetkých článkov, ktoré sa týkajú danej tematiky, bolo uverejnených od roku 2000 do súčasnosti.

Prevažná časť literatúry je venovaná najmä technickým materiálom, ktoré sa používajú v stavebníctve a iných konštrukčných odboroch. Odborných publikácií s textilnou problematikou je pomenej. Súvisiaca tematika väčšinou popisuje vplyv vlhkosti na plošné textílie určené pre odevy, no ojedinele sa našla aj práca, ktorá sa zaoberala vplyvom vlhkosti na netkané textílie.

Samostatná kniha zaoberajúca sa touto problematikou ešte nebola doposiaľ publikovaná. Informácie je najčastejšie možné nájsť vo forme akademických prác publikovaných na TUL a vo forme vedeckých článkov uverejnených v odborných časopisoch.

8 Návrh experimentu

Ako už bolo spomenuté v úvode diplomovej práce, jej cieľom je posúdiť vplyv vlhkosti na izolačné vlastnosti rúna pre spacie vaky. Okrem iného ide v tejto práci aj o potvrdenie alebo vyvrátenie hypotézy, v ktorej sa predpokladá, že vplyv vzdušnej vlhkosti, resp. malé množstvo vody v objeme rúna má na zmenu tepelnoizolačných vlastností minimálny vplyv. Aby sa mohla túto hypotéza potvrdiť alebo vyvrátiť, navrhol sa experiment, ktorý je možné rozdeliť do dvoch častí.

V prvej časti experimentu sú zaujímavé hraničné hodnoty množstva vody v materiáli, t.j. relatívna vlhkosť 0 a 100 %. Dosiahnutie týchto hodnôt relatívnej vlhkosti je však veľmi problematické, a preto boli z ohľadom na možnosti klimatizačnej komory zvolené ako hraničné hodnoty 10 a 90 %. Prvá časť sa zaoberá meraním tepelnoizolačných vlastností v klimatizačnej komore. Meria sa tepelný odpor pri minimálnej a maximálnej relatívnej vlhkosti (t.j. RH 10 % a 90 %) pri teplotách +10, +20 a +50 °C. Výsledky z tohto merania by mali umožniť posúdenie vplyvu vlhkosti na tepelnoizolačné vlastnosti rúna.

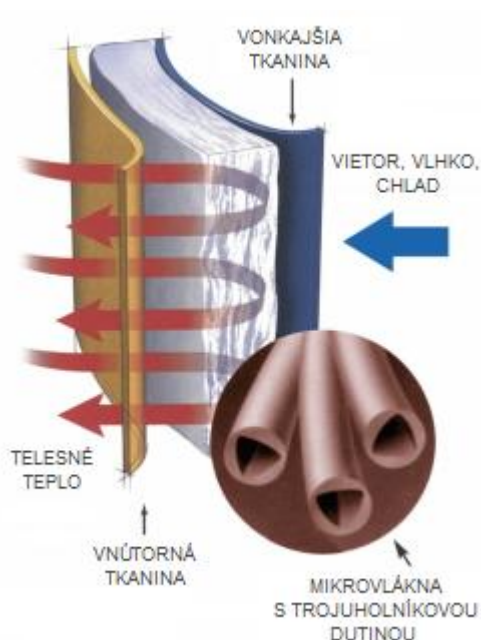
Druhá časť experimentu sa zaoberá meraním tepelnoizolačných vlastností v reálnych klimatických podmienkach. Meria sa tepelný odpor rúna, ktoré je zvlhčené vodou (50, 100, 200 ml) pri teplotách +10 a +20 °C. Oproti prvej časti experimentu sa jedná o niekoľko tisícnásobné zvýšenie podielu vody v objeme textílie, a preto sa predpokladá výrazný vplyv vody na izolačné vlastnosti rúna.

Ako je vidieť, údaje z oboch častí experimentu by nám mali poskytnúť dostatok informácií nato, aby bolo možné posúdiť vplyv vlhkosti na tepelnoizolačné vlastnosti rúna pre spacie vaky.

8.1 Popis materiálu

Materiál pre tento experiment poskytla firma CONDOR, ktorá sa zaoberá výrobou spacích vakov. Tento materiál spadá do kategórie netkaných textílií a je vyrobený zo syntetických (PES) vlákien. Vlákná sú jednodutinkové, termopojivé a silanizované.

Dutinka vo vláknach má trojuholníkový tvar (pozri obrázok č.1). Rúno je vyrobené vrstvením (5 – 6 vrstiev) pavučiny s nižšou hmotnosťou. Pavučina je vyrobená mechanickým spôsobom na mykacom stroji. Spevnenie rúna je zabezpečené termickým prepojením vlákien medzi jednotlivými vrstvami pavučín.



Obrázok č.1: Rúno s jednodutinkových vlákien v systéme spacieho vaku

Tento materiál bol vybraný kvôli tomu, že je v súčasnosti najpoužívanejším výplnkovým materiálom pre spacie vaky. Okrem iného sa tento materiál používa nielen v spacích vakoch, ale aj v odevoch a doplnkoch, ako sú napr. lyžiarske bundy, fusaky a pod. Materiál má minimálnu navlhavosť (menšiu než 1 %), vďaka čomu veľmi rýchlo vysychá a nevyvoláva žiadnu alergiu. Rúno je povrchovo ošetrené, a preto je možné tento materiál používať aj bez častého prešívania.

Technické informácie o použitom materiáli:

- a) materiálové zloženie: 100 % Polyester
- b) technológia výroby: netkaná textília
- c) plošná hmotnosť: 134 g/m^2
- d) hrúbka materiálu: 22 mm
- e) šírka materiálu: 150 cm

Podrobnejšie informácie o použitom materiáli sú uvedené v prílohe C, kde sa nachádzajú aj fotky vlákien z rúna (pohľad na pozdĺžne vlákna i na vlákna v reze).

8.1.1 Príprava vzoriek materiálu

Pre meranie tepelnoizolačných vlastností na prístroji Lambdameter je potrebných desať vzoriek toho istého materiálu v tvare obdĺžnika s rozmermi $34 \text{ cm} \times 38 \text{ cm}$. Jedna vrstva materiálu má hrúbku približne 22 mm.

Pre experiment je však potrebné vrstvením vyrobiť dve sendviče, ktoré budú simulovať steny spacieho vaku. Toto vrstvenie je potrebné preto, aby sa minimalizovala chyba, daná nepresnosťou hrúbky materiálu. Merané rúno nesmie byť kvôli presnosti merania tenšie ako 20 mm a hrubšie ako 200 mm. Sendvič vyrobený vrstvením pozostáva z piatich vrstiev a jeho hrúbka je 110 mm.

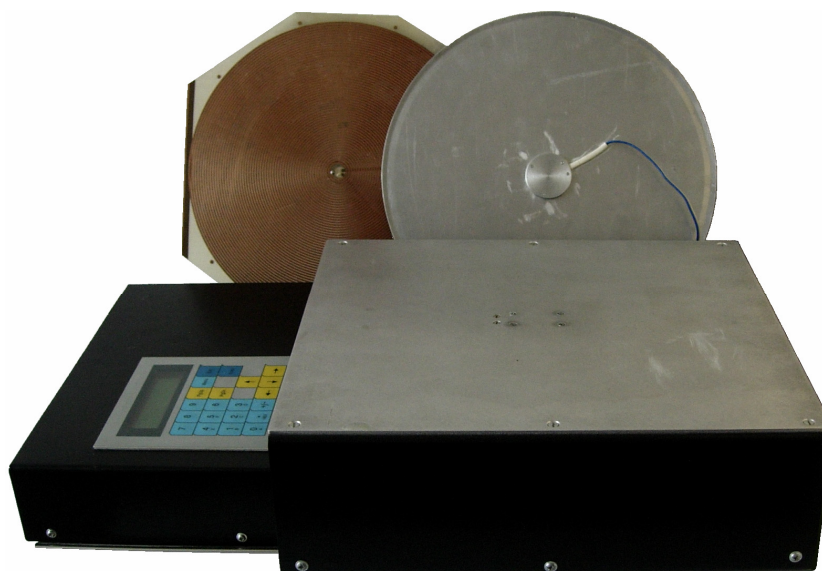
Po umiestnení oboch sendvičov do meracej časti prístroja Lambdameter však dochádza k redukcii ich hrúbky na cca 75 až 60 mm. Zmena hrúbky materiálu nastáva kvôli tlaku, ktorý spôsobuje svojou hmotnosťou výhrevná špirála a horná teplotná sonda, resp. voda, ktorou bolo rúno zvlhčené. Preto je pri výpočte tepelnoizolačných vlastností potrebné zadať do prístroja hrúbku 75 mm (60 mm). Pri každom meraní sa hrúbka overuje meraním pomocou pravítka.

8.2 Meracie prístroje a zariadenia

8.2.1 Lambdameter

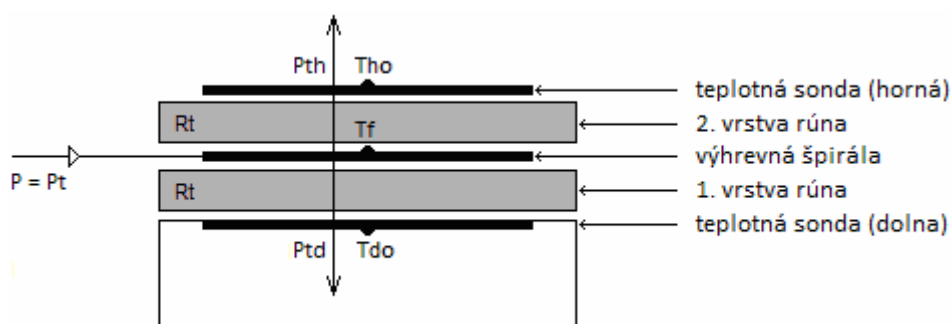
Lambdameter je prístroj, ktorý navrhli a vyrobili na ČVUT - FEL v Prahe. Prístroj je určený na meranie tepelnoizolačných vlastností spacích vakov (konkrétne sa jedná o meranie tepelného odporu a tepelnej vodivosti). Pre získanie spomínaných vlastností využíva stacionárnu metódu merania, t.j. ustálený tok tepla.

Stacionárna metóda je oproti nestacionárnej metóde jednoduchšia, spoľahlivejšia a hlavne ľahšie kontrolovateľná. Dosiahnutie ustáleného stavu je však časovo náročné a to i pri meraní relatívne malých skúšobných vzoriek materiálu. Meranie vychádza z princípu symetrického spôsobu merania, čo znamená, že výhrevná špirála je umiestnená uprostred dvoch vzoriek toho istého materiálu (pozri obrázok č.3). Výhodou tejto metódy je eliminácia nerovnomernosti v tepelnom toku.



Obrázok č.2: Prístroj na meranie tepelnoizolačných vlastností Lambdameter

Meracia aparátúra pozostáva z dvoch meracích plôch s teplotnými senzormi, medzi ktoré sa vkladá spací vak alebo rezy stien spacieho vaku (resp. samotné rúno). Ďalej prístroj obsahuje výhrevnú špirálu, ktorá sa vkladá do spacieho vaku alebo medzi dve vrstvy rúna. Okrem výhrevnej špirály a teplotných sond je súčasťou meracej techniky aj elektronika, ktorá zaznamenáva namerané hodnoty a počíta z nich požadované tepelnoizolačné vlastnosti.



Obrázok č.3: Meracia časť prístroja *Lambdameter*

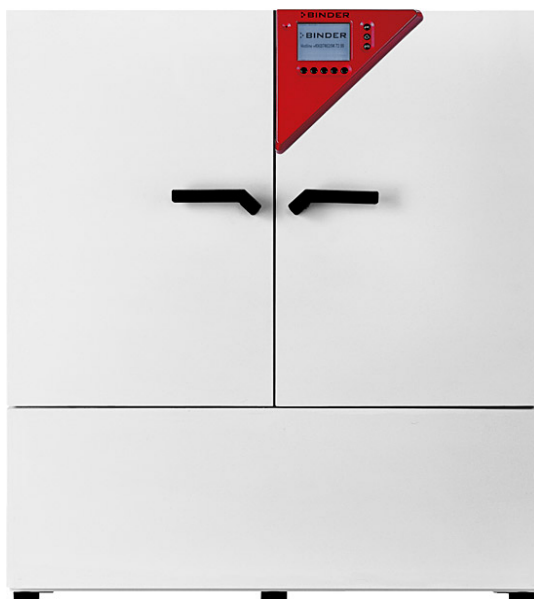
- kde:
- P – tepelný výkon [W]
 - P_t – celkový tepelný výkon výhrevnej špirály [W]
 - P_{th} – tepelný výkon prechádzajúci horným materiálom [W]
 - P_{td} – tepelný výkon prechádzajúci dolným materiálom [W]
 - R_t – tepelný odpor meraného materiálu [$K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$]
 - T_{ho} – teplota na povrchu horného meraného materiálu [K]
 - T_f – teplota na povrchu výhrevnej špirály [K]
 - T_{do} – teplota na povrchu dolného meraného materiálu [K]

Prístroj je plne digitálny a pre výpočet tepelnoizolačných vlastností si vyžaduje údaj, ktorým je hrúbka meraného materiálu. Odčítanie všetkých tepelných výkonov a teplôt, z ktorých prístroj vypočíta merný tepelný odpor a tepelnú vodivosť prebieha až vtedy, keď sa dosiahne ustálený tepelný tok. Ten sa dosiahne približne po jeden a pól až dvoch hodinách merania.

Meraním tepelnoizolačných vlastností pomocou prístroja *Lambdameter* sa podrobnejšie zaoberá M. Mráz [18] vo svojej diplomovej práci.

8.2.2 Klimatizačná komora

Pre tento experiment bola použitá klimatizačná komora KBF 240 od firmy Binder. Tento druh klimatizačnej komory slúži na krátkodobú i dlhodobú aklimatizáciu rôznych druhov textilných i netextilných materiálov. V tomto prípade bola komora použitá na zvlhčenie rúna, resp. vytvorenie požadovanej klímy k meraniu tepelnoizolačných vlastností rúna pre spacie vaky.



Obrázok č.4: Klimatizačná komora Binder KBF 240

Klimatizačná komora Binder KBF 240 je vybavená dvojkanálovým multifunkčným mikroprocesorovým regulátorom pre ovládanie teploty i vlhkosti a digitálnym displejom. Ďalej komora obsahuje kapacitný senzor vlhkosti s presnosťou $\pm 3\%$ od nastavenej hodnoty. Vnútorňa časť komory, predhrievacia komora a vnútorná časť dverí sú vyrobené z nehrdzavejúcej ocele. Kryt je upravený práškovou farbou. Vzduch je zvlhčovaný elektrickým generátorom vodných pár (generátor nemá žiadne špeciálne požiadavky na kvalitu vody). Pracovný rozsah pre vlhkosť (relatívna vlhkosť) je od 10 do 90 % pri teplotách vzduchu od $+10$ do $+90$ °C. Pri teplote nižšej ako $+10$ °C (max. -10 °C) je potrebné vypnúť elektrický generátor vodných par.

8.2.3 Minikin TH

Tento prístroj slúži na meranie teploty a vlhkosti vzduchu. Vyznačuje sa vysokou presnosťou. Je vodotesný a má široký operačný rozsah teplôt. Veľkokapacitná energeticky nezávislá pamäť umožňuje uchovať až 25 000 hodnôt z meraní. Prístroj je napájaný priemyselnou (Li-ion) batériou, ktorá má vysokú životnosť. Pre štatistické a grafické spracovanie nameraných údajov slúži program Mini32.



Obrázok č.5: Vlhkomer Minikin TH

9 Realizácia experimentu

Experiment prebehol v období vymedzenom zimným a letným semestrom v školskom roku 2007/2008. Doba trvania experimentu bola približne dva mesiace. Táto doba zahŕňa prípravu, orientačné pokusy i vlastný experiment. V priebehu prípravy a orientačných pokusov prebiehalo niekoľko konzultácií s vedúcim diplomovej práce. Tie viedli k odstráneniu nedostatkov pri meraní a k vývoju účelnejšieho spôsobu prevedenia experimentu.

9.1 Orientačné pokusy

Úlohou orientačných pokusov bolo zmapovať rozsah a formu prejavu sledovaných javov a procesov. Taktiež poslúžili k osvojeniu si postupov práce a pomohli k vývoju účelnejšieho spôsobu prevedenia experimentu.

Pri orientačných pokusoch bol zistený nepriaznivý vplyv prúdiaceho vzduchu v klimatizačnej komore, ktorý spôsoboval zvýšenú tepelnú vodivosť meraného rúna. Prúdenie vzduchu v komore vytváral ventilátor, ktorý zabezpečoval stabilnú klímu. Jeho vypnutím však dochádzalo k vzniku nestabilnej klímy, a preto bol tento problém po sérii orientačných pokusov vyriešený takto:

Výkon ventilátora v klimatizačnej komore bol nastavený na 50 % a okolo meracej jednotky prístroja Lambdameter bola postavená izolačná stena z kartónového papiera. Stena bola umiestnená tak, aby medzi meracou jednotkou a kartónom ostala s každej strany medzera 40 mm. Hrúbka kartónu bola 3 mm.



Obrázok č.6: *Umiestnenie meracej jednotky v klimatizačnej komore*

V rámci orientačných pokusov bol vypracovaný aj pracovný postup pre realizáciu konečného experimentu (pozri „Vlastný experiment“), ktorý by mal prispieť k zlepšeniu reprodukovateľnosti experimentu.

9.2 Vlastný experiment

Vlastný experiment začal až po sérii vyššie spomínaných orientačných pokusov, ktoré pomohli pochopiť techniku merania a vylepšiť jej spôsob.

Vzhľadom k náročnosti merania na čas a kvôli obmedzenej pracovnej dobe a stavebným prácam vykonávaným na katedre odevníctva, realizovaný bol iba minimálny počet meraní. To znamená, že všetky súbory nameraných údajov pozostávajú iba z troch meraní.

Pre meranie tepelnoizolačných vlastností rúna v klimatizačnej komore bol vypracovaný a použitý tento pracovný postup:

- 1) Inštalácia klimatizačnej komory (návod – pozri *manuál Binder KBF 240*).
- 2) Inštalácia prístroja na meranie tepelnoizolačných vlastností do klimatizačnej komory. Merná jednotka je umiestnená uprostred klimatizačnej komory (pozri *obrázok č.6*).
- 3) Umiestnenie vzoriek materiálu do meracej jednotky (pozri *obrázok č.3*).
- 4) Kontrola hrúbky materiálu pomocou pravítka s presnosťou na 1 mm.
- 5) Spustenie klimatizačnej komory a nastavenie požadovanej klímy.
- 6) Príprava požadovanej klímy a aklimatizácia materiálu (cca 2 h).
- 7) Zapnutie prístroja Lambdameter (hlavný vypínač).
- 8) Zadanie hrúbky materiálu do prístroja Lambdameter (pozri popis: *Zadanie hrúbky materiálu do prístroja Lambdameter*).
- 9) Začatie merania (pozri popis: *Začiatok a koniec merania*) a záznam hodnôt do laboratórneho denníka.
- 10) Ukončenie merania (pozri popis: *Začiatok a koniec merania*) a záznam hodnôt do laboratórneho denníka.
- 11) Výpočet merného tepelného odporu a tepelnej vodivosti (pozri popis: *Výpočet merného tepelného odporu a tepelnej vodivosti*) a záznam hodnôt do laboratórneho denníka.

Pre meranie tepelnoizolačných vlastností rúna pre spacie vaky v reálnych klimatických podmienkach bol vypracovaný a použitý tento pracovný postup:

- 1) Príprava prístroja Lambdameter.
- 2) Záznam o klimatických podmienkach do laboratórneho denníka.
- 3) Zvlhčenie meraného materiálu požadovaným množstvom vody (pozri popis: *Zvlhčenie rúna vodou*)

- 4) Umiestnenie vzoriek materiálu do meracej jednotky (pozri *obrázok č.3*).
- 5) Kontrola hrúbky materiálu pomocou pravítka s presnosťou na 1 mm.
- 6) Zapnutie prístroja Lambdameter (hlavný vypínač).
- 7) Zadanie hrúbky materiálu do prístroja Lambdameter (pozri popis: *Zadanie hrúbky materiálu do prístroja Lambdameter*).
- 8) Začatie merania (pozri popis: *Začiatok a koniec merania*) a záznam hodnôt do laboratórneho denníka.
- 9) Ukončenie merania (pozri popis: *Začiatok a koniec merania*) a záznam hodnôt do laboratórneho denníka.
- 10) Výpočet merného tepelného odporu a tepelnej vodivosti (pozri popis: *Výpočet merného tepelného odporu a tepelnej vodivosti*) a záznam hodnôt do laboratórneho denníka.

Zadanie hrúbky materiálu do prístroja Lambdameter

Údaj o hrúbke materiálu zadáme do prístroja Lambdameter stlačením klávesy „Menu“, kde vyberieme položku „Hrúbka materiálu“. Položky vyberáme šípkami a potvrdzujeme klávesom „Enter“. Hodnotu zadáme na číselnej klávesnici a potvrdíme klávesom „Enter“.

Začiatok a koniec merania

Meranie sa začne, resp. ukončí položkou „Začať/Ukončiť“ v hlavnom menu. Položku vyberáme šípkami a potvrdzujeme klávesom „Enter“. Meranie je možné ukončiť aj hlavným vypínačom. Samotné meranie trvá 1,5 – 2 hodiny. Meranie sa ukončí iba v prípade, že sa už nenačíta hodnota tepelného odporu R_t na displeji prístroja.

Výpočet merného tepelného odporu a tepelnej vodivosti

Pre výpočet merného tepelného odporu a tepelnej vodivosti musíme nájsť v menu položku „Výpočet merného tepelného odporu a vodivosti“. Po potvrdení klávesom

„Enter“ prístroj vypočíta požadované údaje. Výpočet merného tepelného odporu a tepelnej vodivosti pritom vychádza z tepelného odporu, ktorý si prístroj vypočíta podľa vzťahu [18]:

$$R_t = 2S \frac{(T_1 - T_2)}{P} \quad (9.1)$$

kde: R_t – tepelný odpor [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
 S – plocha [m^2]
 T_1 – teplota na povrchu výhrevnej špirály [K]
 T_2 – teplota povrchu meraného materiálu [K]
 P – tepelný výkon [W]

Vzťahy pre výpočet merného tepelného odporu a tepelnej vodivosti sú uvedené v kapitole „Tepelnoizolačné vlastnosti“ (str. 23 – 26).

Zvlhčenie rúna vodou

Na zvlhčenie materiálu bola použitá pitná voda z vodovodu. Množstvo vody bolo odmerané injekčnou striekačkou s objemom 20 ml a voda bola rozstriešaná na povrch jednotlivých vrstiev materiálu.

10 Matematický model

Matematické modely sa bežne používajú vo vedeckých disciplínach i v technickej praxi. Skúmajú sa nimi vlastnosti skutočných objektov a dejov, ktoré napodobňujú. Tieto modely sa používajú preto, lebo experimentovanie s nimi je obvykle lacnejšie a rýchlejšie ako experimentovanie so skutočným modelom a tiež preto, lebo nám môžu pomôcť objasniť nové súvislosti, ktoré sú iným spôsobom prakticky nedostupné. Je potrebné zdôrazniť, že sa často jedná iba o zjednodušené modely napodobňujúce skutočnosť, a preto je nutné prijímať takto získané závery s istou dávkou opatrnosti. Pre správny výklad týchto modelov je potrebné dôkladne porozumieť teórii a zjednodušeniam, na ktorých je daný model postavený.

10.1 Úvod

Z praxe je známe, že spacie vaky sa používajú v rôznych klimatických podmienkach. So zmenou týchto podmienok často dochádza aj k zmene objemu vzdušnej vlhkosti, ktorá sa nachádza v rúne. Okrem vzdušnej vlhkosti sa však v spacom vaku môže nachádzať aj vlhkosť v kvapalnej forme, ktorá vzniká kondenzáciou.

Ľudské telo dokáže vyprodukovať pri vnútornej teplote organizmu do 34 °C približne 0,03 l potu za hodinu a pri teplote nad 34 °C dokonca až 0,4 l potu za hodinu [27]. Časť tejto vlhkosti prechádza spacím vakom v podobe vodnej pary a časť vlhkosti ostáva v spacom vaku ako kondenzát. Weder vo svojej práci [28] uvádza, že spacím vakom prechádza vo forme vodnej pary iba 30 % tejto vlhkosti. Ostatných 70 % ostáva v rúne a ovplyvňuje tak jeho tepelnoizolačné vlastnosti.

Z tohto dôvodu je preto vhodné preskúmať, ako sa menia tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri rôznom obsahu vzdušnej vlhkosti (keď je v rúne iba minimum vody v podobe vodnej pary) a zároveň by bolo vhodné preskúmať aj zmenu tepelnoizolač-

ných vlastností rúna pri jeho zvlhčení vodou v kvapalnej forme (kde je už objem vody vzhľadom k objemu rúna vysoký).

Pre túto diplomovú prácu bol navrhnutý model, ktorý je podrobnejšie popísaný v nasledujúcej kapitole (10.2). Okrem tohto modelu však práca obsahuje ešte ďalší model (kapitola 10.3), ktorého autorom je Adéla Fröhlichová. Tento druhý model bol vytvorený v rámci diplomovej práce pojednávajúcej o vplyve vlhkosti na tepelnoizolačné vlastnosti tkanín pre pracovné odevy. Vzhľadom k príbuznosti tematického okruhu obidvoch diplomových prác a vzhľadom k veľmi veľkej podobnosti obidvoch modelov je vhodné, aby boli výsledky týchto modelov vzájomne porovnané.

10.2 Model A

Tento matematický model predstavuje zjednodušený systém vlhkého rúna, na ktorom boli merané tepelnoizolačné vlastnosti v experimentálnej časti tejto diplomovej práce. Model berie do úvahy iba dve zložky, a to vodu a rúno. Konečný vzťah vychádza z plošného obsahu obidvoch zložiek a z ich tepelných vodivostí. Úlohou tohto modelu je výpočet tepelnej vodivosti vlhkého rúna.

Základom modelu je vzťah pre výpočet tepelného odporu:

$$R_t = \frac{S \cdot \Delta T}{P} \quad (10.1)$$

kde:

R_t	– tepelný odpor	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
S	– plocha	$[m^2]$
ΔT	– teplotný gradient	$[K]$
P	– tepelný výkon	$[W]$

Zo vzťahu (10.1) potrebujeme vypočítať tepelnú vodivosť, a preto musíme využiť prepočtový vzťah medzi tepelnou vodivosťou a tepelným odporom:

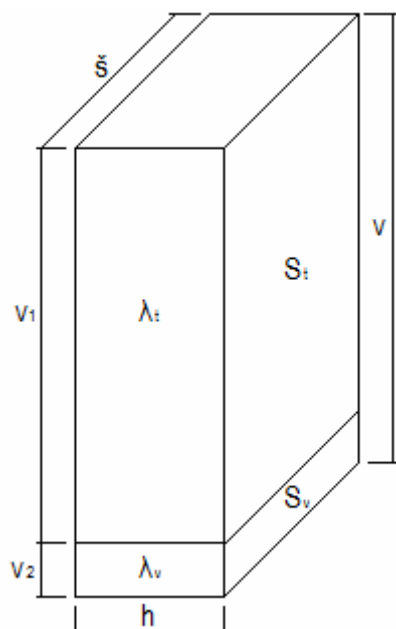
$$R_t = \frac{h}{\lambda} \quad (10.2)$$

kde: R_t – tepelný odpor [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]
 λ – tepelná vodivosť [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 h – hrúbka [m]

Po dosadení prepočtového vzťahu (10.2) do (10.1) a po jeho úprave dostaneme:

$$P = \frac{\lambda \cdot S \cdot \Delta T}{h} \quad (10.3)$$

Pri ďalšom postupe je potrebné vychádzať zo zjednodušenia reálneho systému vlhkého rúna. Ako bolo naznačené v úvode, model počíta iba s dvomi zložkami (voda a rúno), ktoré sú zoradené paralelne vedľa seba (pozri obrázok č.7).



Legenda:

λ_t – tepelná vodivosť rúna [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 λ_v – tepelná vodivosť vody [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 S_t – plocha rúna [m^2]
 S_v – plocha vody [m^2]
 S_{tv} – celková plocha vlhkého rúna [m^2]
 h – hrúbka rúna i vody [m]
 v_1 – výška rúna [m]
 v_2 – výška vody [m]
 v – celková výška [m]
 $š$ – šírka rúna i vody [m]

Obrázok č.7: Model vlhkého rúna (paralelné usporiadanie zložiek)

Pre prvú zložku (t.j. rúno) platí vzťah:

$$P_t = \frac{\lambda_t \cdot S_t \cdot \Delta T}{h} \quad (10.4)$$

kde: P_t – tepelný výkon prechádzajúci rúnom $[W]$
 λ_t – tepelná vodivosť rúna $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
 S_t – plocha rúna $[m^2]$
 ΔT – teplotný gradient $[K]$
 h – hrúbka rúna $[m]$

Pre druhú zložku (t.j. vodu) platí vzťah:

$$P_v = \frac{\lambda_v \cdot S_v \cdot \Delta T}{h} \quad (10.5)$$

kde: P_v – tepelný výkon prechádzajúci vodou $[W]$
 λ_v – tepelná vodivosť vody $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
 S_v – plocha vody $[m^2]$
 ΔT – teplotný gradient $[K]$
 h – hrúbka rúna $[m]$

Súčtom tepelných výkonov oboch zložiek, t.j. (10.4) a (10.5) dostaneme celkový tepelný výkon, ktorý prechádza vlhkým rúnom.

$$P_{tv} = P_t + P_v \quad (10.6)$$

$$P_{tv} = \frac{(\lambda_t \cdot S_t \cdot \Delta T) + (\lambda_v \cdot S_v \cdot \Delta T)}{h} \quad (10.7)$$

Pre ďalší postup potrebujeme upraviť vzťah (10.3).

$$P_{tv} = \frac{\lambda_{tv} \cdot S_{tv} \cdot \Delta T}{h} \quad (10.8)$$

kde: P_{tv} – tepelný výkon prechádzajúci vlhkým rúnom $[W]$, kde $P_{tv} = P_t + P_v$
 λ_{tv} – tepelná vodivosť vlhkého rúna $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
 S_{tv} – celková plocha vlhkého rúna $[m^2]$, kde $S_{tv} = S_t + S_v$
 ΔT – teplotný gradient $[K]$
 h – hrúbka rúna i vody $[m]$

Dosadením vzťahu (10.8) do (10.7) dostaneme výsledný vzťah pre výpočet tepelnej vodivosti vlhkého rúna.

$$\lambda_{tv} = \left(\frac{S_t}{S_{tv}} \right) \lambda_t + \left(\frac{S_v}{S_{tv}} \right) \lambda_v \quad (10.9)$$

kde: λ_{tv} – tepelná vodivosť vlhkého rúna $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
 λ_t – tepelná vodivosť rúna $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
 λ_v – tepelná vodivosť vody $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
 S_{tv} – celková plocha vlhkého rúna $[m^2]$, kde $S_{tv} = S_t + S_v$
 S_t – plocha rúna $[m^2]$
 S_v – plocha vody $[m^2]$

10.2.1 Výsledky modelu A

Výsledkom matematického modelu je teoreticky vypočítaná tepelná vodivosť vlhkého rúna. Údaje a vzorce potrebné pre tento výpočet sú súčasťou tabuľky (model.xls), ktorá je umiestnená na CD. V tabuľkách č.2 a č.3 je uvedená iba výsledná tepelná vodivosť vlhkého rúna (λ_{tv}), pri rôznych teplotách a pri rôznom množstve vlhkosti v rúne.

Tabuľka č.2: Tepelná vodivosť vlhkého rúna (model Hreha, P.)

T [°C]	a [g·m ⁻³]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
10	0,9	60,0
20	1,7	60,0
50	8,5	60,0
10	8,5	60,0
20	15,7	60,0
50	76,6	60,0

Tabuľka č.3: Tepelná vodivosť vlhkého rúna (model Hreha, P.)

T [°C]	a [g·m ⁻³]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
10	6250	63,5
10	12500	66,9
10	25000	73,6
20	6250	63,5
20	12500	66,9
20	25000	73,6

10.3 Model B

Tento matematický model bol vytvorený A. Fröhlichovou v rámci diplomovej práce [10], ktorá sa zaoberala vplyvom vlhkosti na tepelnoizolačné vlastnosti tkanín pre pracovné odevy. Jedná sa o zjednodušený model, ktorý berie do úvahy iba dve zložky, a to vodu a textíliu. Vychádza z percentuálneho pomeru oboch zložiek a z ich tepelných vodivostí. Model teoreticky počíta s tým, že vzduch obsiahnutý v textílii je nahradený vodou. Úlohou tohto modelu bol výpočet tepelnej vodivosti zvlhčenej tkaniny.

Konečný vzťah pre výpočet tepelnej vodivosti:

$$\lambda_{tv} = \left(\frac{a}{a+b} \right) \lambda_t + \left(\frac{b}{a+b} \right) \lambda_v \quad (10.10)$$

kde: λ_{tv} – tepelná vodivosť vlhkej tkaniny [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 λ_t – tepelná vodivosť tkaniny [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 λ_v – tepelná vodivosť vody [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 a – hmotnostný podiel suchej textílie [%]
 b – hmotnostný podiel vody v textílii [%]

10.3.1 Výsledky modelu B

Podobne ako model A, aj model B bol použitý pre výpočet tepelnej vodivosti vlhkého rúna. Údaje a vzorce potrebné pre tento výpočet boli zapracované do tabuľky (model.xls), ktorá je umiestnená na CD. V tabuľkách č.4 a č.5 je uvedená už iba výsledná tepelná vodivosť vlhkého rúna (λ_{tv}), pri rôznych teplotách a pri rôznom množstve vlhkosti v rúne.

Tabuľka č.4: Tepelná vodivosť vlhkého rúna (model Fröhlichová, A.)

T [°C]	a [g·m ⁻³]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
10	0,9	60,1
20	1,7	60,8
50	8,5	60,2
10	8,5	61,4
20	15,7	60,8
50	76,6	66,8

Tabuľka č.5: Tepelná vodivosť vlhkého rúna (model Fröhlichová, A.)

T [°C]	a [g·m ⁻³]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
10	6250	334,5
10	12500	423,9
10	25000	494,8
20	6250	334,5
20	12500	334,5
20	25000	494,8

11 Výsledky a diskusia

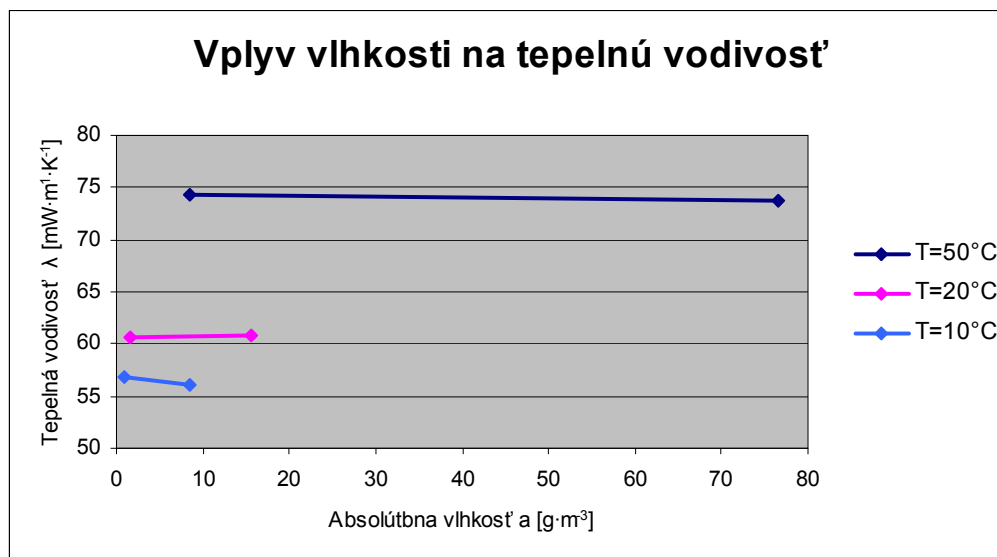
11.1 Prvá časť experimentu

V prvej časti experimentu bol meraný tepelný odpor rúna, ktoré bolo zvlhčené malým objemom vody v podobe pary. Absolútna vlhkosť v rúne sa pri týchto meraniach pohybovala v rozmedzí 0 až $80 \text{ g}\cdot\text{m}^3$ (objem vlhkosti v rúne bol závislý na klimatických podmienkach v klimatizačnej komore – pozri kapitolu „Návrh experimentu“). Zvlhčenie rúna bolo realizované jeho aklimatizáciou v klimatizačnej komore, kde prebiehalo i meranie tepelného odporu. Meranie sa uskutočnilo pri teplotách vzduchu 10, 20 a 50°C . Z tepelného odporu bola následne vypočítaná tepelná vodivosť a merný tepelný odpor. Štatistické spracovanie nameraných údajov je uvedené v tabuľkách B1 až B6 (pozri prílohu B).

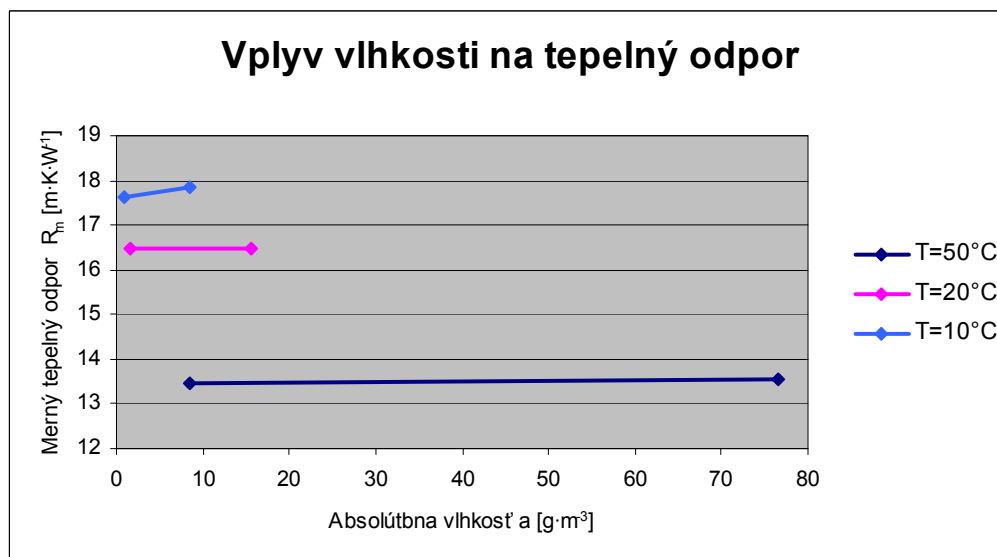
Okrem štatistického spracovania boli výsledky merania spracované aj graficky. V grafe č.1 je znázornený vplyv vlhkosti na tepelnú vodivosť a v grafe č.2 je znázornený vplyv vlhkosti na merný tepelný odpor.

Na obidvoch grafoch (graf č.1 i graf č.2) je vidieť, že vplyv vlhkosti na tepelnoizolačné vlastnosti je pri malých objemoch vody v rúne iba minimálny. Je zaujímavé, že so zvyšujúcou sa vlhkosťou tepelná vodivosť rúna mierne klesá. Podľa teórie by to však malo byť naopak. Tento výsledok je však s najväčšou pravdepodobnosťou spôsobený nepresnosťou v hrúbke rúna. Klimatizačná komora bola totiž využívaná aj inými študentmi, a preto nebolo možné vyhnúť sa manipulácii s rúnom. Z tohto dôvodu sa hrúbka rúna mohla pri jednotlivých meraniach nepatrne meniť a to sa mohlo prejaviť na výsledných tepelnoizolačných vlastnostiach.

Z prvej časti experimentu vyplynulo, že pri zmenách vzdušnej vlhkosti nedochádza k významným zmenám tepelnoizolačných vlastností. Objem vzduchu totiž mnohonásobne prevyšuje objem vody v rúne, a preto sú zmeny tepelnoizolačných vlastností rúna nepatrné.



Graf č.1: Vplyv vlhkosti na tepelnú vodivosť (1. časť experimentu)



Graf č.2: Vplyv vlhkosti na tepelný odpor (1. časť experimentu)

11.2 Druhá časť experimentu

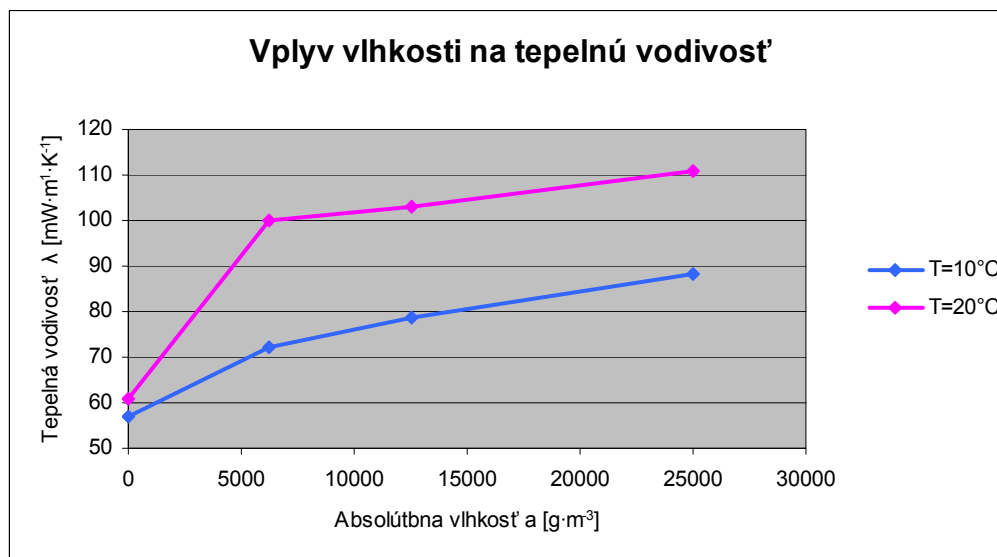
V druhej časti experimentu bol zmeraný tepelný odpor rúna, ktoré bolo zvlhčené veľkým objemom vody. Absolútna vlhkosť v rúne bola pri týchto meraniach približne 6250, 12500 a 25000 g·m³. Zvlhčenie rúna bolo realizované pokropením pomocou injekčnej striekačky, ktorou bolo odmerané potrebné množstvo vody pre daný objem rúna. Meranie sa uskutočnilo pri teplotách vzduchu 10 a 20 °C. Z tepelného odporu bola následne vypočítaná tepelná vodivosť a merný tepelný odpor. Štatistické spracovanie nameraných údajov je uvedené v tabuľkách B7 až B12 (pozri prílohu B).

Súčasťou druhej časti experimentu je tiež grafické spracovanie výsledkov merania. V grafe č.3 je znázornený vplyv vlhkosti na tepelnú vodivosť a v grafe č.4 je vplyv vlhkosti na merný tepelný odpor.

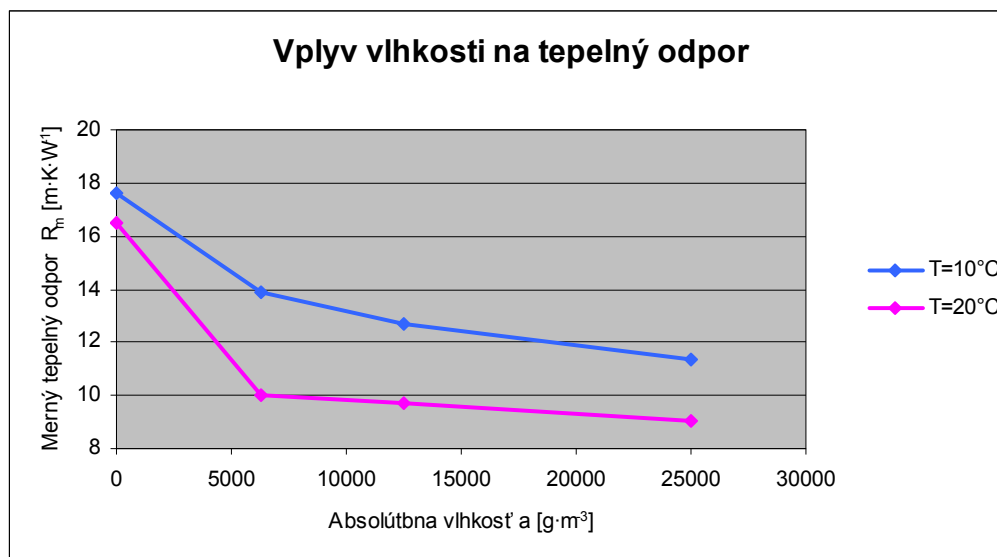
Na obidvoch grafoch (graf č.3 i graf č.4) je vidieť, že vplyv niekoľkonásobne väčšieho množstva vlhkosti, oproti množstvu vlhkosti použitému v prvej časti experimentu sa na tepelnoizolačných vlastnostiach rúna prejavuje už celkom výrazne. Na grafoch č.3 a č.4 je v prvej tretine vidieť prudký rast tepelnej vodivosti a prudký pokles tepelného odporu. Rozdiel medzi počiatočnými hodnotami a hodnotami pri vlhkosti 6250 g·m³ činí približne 30 až 40 %. Zo stúpajúcou vlhkosťou sa rast tepelnej vodivosti a pokles tepelného odporu spomaľuje.

Z druhej časti experimentu vyplýva, že pri zvýšenom množstve vlhkosti v rúne dochádza k výrazným zmenám tepelnoizolačných vlastností. Objem vzduchu v rúne je v tomto prípade nahradený veľkým množstvom vody v kvapalnom skupenstve. Voda v kvapalnej forme sa vyparuje a výparné teplo znižuje rozdiel teplôt, ktorý má vplyv na tepelnoizolačné vlastnosti. Podľa toho, aké veľké množstvo vody sa z rúna odparí, závisí aj veľkosť zmeny tepelnoizolačných vlastností. Zmeny spôsobené výparom vody sú tiež závislé od toho, akú má daný materiál priepustnosť vodných pár.

Z toho vyplýva, že voda v kvapalnom skupenstve, má na tepelnoizolačné vlastnosti rúna podstatne väčší vplyv ako voda v plynnom skupenstve.



Graf č.3: Vplyv vlhkosti na tepelnú vodivosť (2. časť experimentu)



Graf č.4: Vplyv vlhkosti na tepelný odpor (2. časť experimentu)

11.3 Model vs. experiment

Táto kapitola sa zaoberá porovnávaním teoretických výsledkov s údajmi, ktoré boli reálne namerané počas experimentu. Údaje z experimentu a modelov sú zapísané v tabuľkách č.6 a č.7, kde T [°C] je teplota vzduchu, a [g·m⁻³] je absolútna vlhkosť a λ_{tv} [mW·m⁻¹·K⁻¹] je tepelná vodivosť rúna. V stĺpci označenom ako „Model A“ sa nachádza tepelná vodivosť vlhkého rúna, vypočítaná pomocou modelu A. V stĺpci označenom ako „Model B“ je tepelná vodivosť vlhkého rúna vypočítaná pomocou modelu B a v stĺpci „Experiment“ je skutočná tepelná vodivosť rúna, ktorá bola zmeraná na prístroji Lambdameter.

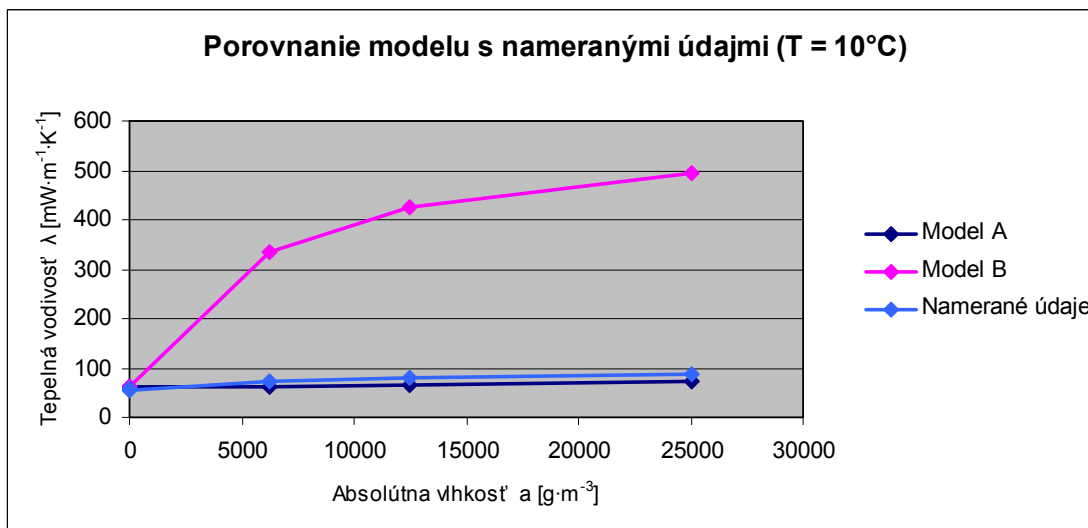
Tabuľka č.6: Tepelná vodivosť vlhkého rúna (modelu A, model B, experiment)

		Model A	Model B	Experiment
T [°C]	a [g·m ⁻³]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
10	0,9	60,0	60,1	56,8
20	1,7	60,0	60,8	60,7
50	8,5	60,0	60,2	74,4
10	8,5	60,0	61,4	56,1
20	15,7	60,0	60,8	60,7
50	76,6	60,0	66,8	73,7

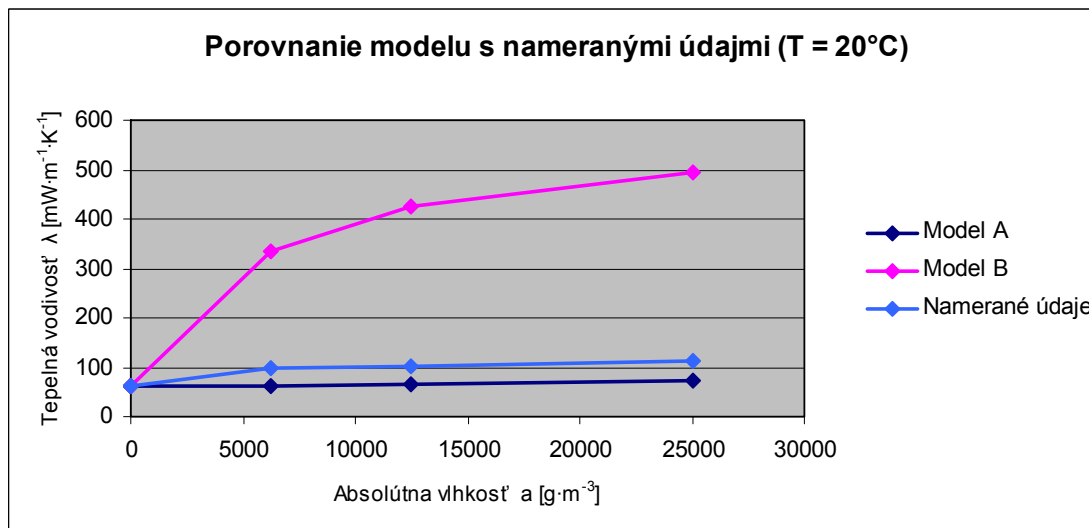
Tabuľka č.7: Tepelná vodivosť vlhkého rúna (modelu A, model B, experiment)

		Model A	Model B	Experiment
T [°C]	a [g·m ⁻³]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	λ_{tv} [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
10	6250	63,5	334,5	72,2
10	12500	66,9	423,9	78,9
10	25000	73,6	494,8	88,3
20	6250	63,5	334,5	99,8
20	12500	66,9	423,9	103,0
20	25000	73,6	494,8	111,0

Porovnanie teoretických údajov s reálnymi výsledkami merania je graficky spracované v grafoch č.5 a č.6.



Graf č.5: Porovnanie teoretických údajov s reálnymi výsledkami merania.



Graf č.6: Porovnanie teoretických údajov s reálnymi výsledkami merania.

Graf č.5 porovnáva reálne výsledky merania s obidvomi modelmi (model A, model B) pri teplote vzduchu $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z grafu je vidieť, že k skutočným hodnotám tepelnej vodivosti sa najviac blíži model A. Z grafu č.5 to síce nie je vidieť, ale model B sa tiež blíži k nameraným hodnotám (pozri tabuľku č.6). Model B je preto použiteľný, ale len pri malých objemoch vzdušnej vlhkosti. Pri veľkých objemoch kvapalnej vlhkosti je rozdiel medzi modelom B a skutočnými hodnotami príliš vysoký a model je nepoužiteľný.

Graf č.6 porovnáva reálne výsledky merania s obidvomi modelmi (model A, model B) pri teplote vzduchu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z tohto grafu je tiež vidieť, že k skutočným hodnotám tepelnej vodivosti sa najviac blíži model A. Pre model B platí to isté, ako pri grafe č.5: model je použiteľný len pri malých objemoch vzdušnej vlhkosti (pozri tabuľku č.7). Pri veľkých objemoch kvapalnej vlhkosti je rozdiel medzi modelom B a skutočnými hodnotami príliš vysoký a model je nepoužiteľný.

Tabuľka č.8: Porovnanie modelu A s reálnymi výsledkami merania.

$T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$	$a\text{ [g}\cdot\text{m}^{-3}\text{]}$	Model A $\lambda_{tv}\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$	Experiment $\lambda_{tv}\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$	Model A/Experiment [%]
10	0,9	60,0	56,8	5,6
20	1,7	60,0	60,7	1,2
50	8,5	60,0	74,4	19,4
10	8,5	60,0	56,1	7,0
20	15,7	60,0	60,7	1,2
50	76,6	60,0	73,7	18,6

Tabuľka č.9: Porovnanie modelu A s reálnymi výsledkami merania.

$T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$	$a\text{ [g}\cdot\text{m}^{-3}\text{]}$	Model A $\lambda_{tv}\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$	Experiment $\lambda_{tv}\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$	Model A/Experiment [%]
10	6250	63,5	72,2	12,0
10	12500	66,9	78,9	15,2
10	25000	73,6	88,3	16,6
20	6250	63,5	99,8	36,4
20	12500	66,9	103,0	35,0
20	25000	73,6	111,0	33,7

V tabuľkách č.8 a č.9 je vidieť, že so zvyšovaním vlhkosti sa zvyšuje aj rozdiel medzi modelom A a skutočnou tepelnou vodivosťou. Rozdiel medzi modelom a nameranými údajmi je pri nízkom obsahu vlhkosti približne 5 – 7 %, no pri vyššom obsahu vlhkosti sa rozdiel zvyšuje až na 36 %.

Tento rozdiel je spôsobený tým, že model nepočíta s výparným teplom. Voda² v kvapalnom skupenstve sa z rúna vyparuje a pri prechode rúnom odvádza značnú časť tepla. Tým dochádza k zmene teplotného gradientu, ktorý výrazne ovplyvňuje výslednú tepelnú vodivosť.

Teplotu o ktorú sa zníži teplotný gradient je možné vypočítať z tohto vzťahu:

$$(m_1 - m_2) \cdot c \cdot \Delta T = m_2 \cdot l_w \quad (11.1)$$

kde: ΔT – teplotný gradient [K]

m_1 – hmotnosť vody v rúne [kg]

m_2 – hmotnosť vyparenej vody [kg]

c – merná tepelná kapacita vody 4180 [J · kg⁻¹ · K⁻¹]

l_w – merné výparné teplo vody 2,4 · 10⁶ [J · K⁻¹]

Příklad: Rúno bolo zvlhčené vodou o objeme 50 ml. Pri predpokladanej priepustnosti rúna 1 % za 2 hodiny, hmotnosť vyparenej vody predstavuje iba 0,5 g. Časový úsek dvoch hodín reprezentuje dobu merania tepelnej vodivosti, počas ktorej sa mohla voda vyparovať. Výpočtom zo vzťahu 11.1 sa zistilo, že 0,5 g odparenej vody dokáže zmeniť rozdiel teplôt približne o 6 °C.

Ak zo vzťahu 10.3 vypočítame ľubovoľnú tepelnú vodivosť a pri opakovanom výpočte znížime teplotný gradient o 6 °C, tak zistíme, že rozdiel medzi prvou a druhou tepelnou vodivosťou predstavuje približne 30 %. A toto je práve ten rozdiel, ktorý je vidieť medzi teoreticky vypočítanou a reálne zmeranou tepelnou vodivosťou (pozri tabuľku č.9).

² Problematikou výparu vody a izolácie sa zaoberá L. Sieger v článku „Voda - problémy s energií“ [25].

Záver

Hlavným cieľom tejto diplomovej práce bolo posúdiť vplyv vlhkosti na izolačné vlastnosti rúna pre spacie vaky. K dosiahnutiu tohto cieľa bol navrhnutý experiment, ktorý sa delí na dve časti.

V prvej časti experimentu bol skúmaný vplyv vzdušnej vlhkosti, kde sa v objeme rúna nachádzalo veľmi malé množstvo (0 až $80 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) vody v plynnom skupenstve. To odpovedá relatívnej vlhkosti vzduchu 10 a 90% pri teplotách merania 10 , 20 a $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Z výsledkov tejto časti experimentu vyplynulo, že pri zmenách vzdušnej vlhkosti nedochádza k tak významným zmenám tepelnoizolačných vlastností, aby bol ovplyvnený tepelný komfort užívateľa spacieho vaku. Objem vzduchu mnohonásobne prevyšuje objem vody v rúne, a preto sa tepelnoizolačné vlastnosti takmer nemenia.

V druhej časti experimentu bol skúmaný vplyv kvapalnej vlhkosti, kde sa v objeme rúna nachádzalo pomerne veľké množstvo (6250 až $25000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) vody v kvapalnom skupenstve. Z výsledkov tejto časti experimentu vyplynulo, že pri zvýšenom množstve vody v rúne dochádza k výrazným zmenám tepelnoizolačných vlastností, ktoré môžu narušiť tepelný komfort užívateľa spacieho vaku. Veľký objem vzduchu je z rúna vytláčaný množstvom vody. Okrem toho sa voda z rúna vyparuje a tým sa zvyšuje tepelný tok, čo má za následok zvyšovanie tepelnej vodivosti. Z toho vyplýva, že voda v kvapalnom skupenstve má na tepelnoizolačné vlastnosti podstatne väčší vplyv ako voda v plynnom skupenstve.

Okrem experimentu bol pre posúdenie vplyvu vlhkosti vypracovaný matematický model (model A), ktorého úlohou bol teoretický výpočet tepelnej vodivosti rúna. Popri vlastnom modeli je súčasťou práce aj konkurenčný model (model B) z práce [10].

Porovnaním modelu B so skutočnou tepelnou vodivosťou bolo zistené, že model je použiteľný iba v prípadoch, keď je rúno zvlhčené veľmi malým množstvom vody.

Pri väčšom množstve vody je rozdiel medzi teoretickou a skutočnou hodnotou príliš vysoký (cca 200 – 400 %).

Porovnaním modelu A so skutočnou tepelnou vodivosťou bolo zistené, že model kopíruje namerané hodnoty s menšími odchýlkami, ktoré sa s pribúdajúcim množstvom vlhkosti zväčšujú. Tento rozdiel bol spôsobený tým, že zjednodušený model nepočítal s výparným teplom. Teoretickými výpočtami (pozri kapitolu 11.1) sa potvrdilo, že vyparovanie vody zohráva pri zmene tepelnoizolačných vlastností rúna významnú úlohu.

Na záver je treba povedať, že táto práca potvrdila predpokladané výsledky, ktoré vychádzali z teoretických poznatkov. Hodnota tepelnej vodivosti vody je oproti ľubovoľnému izolačnému materiálu niekoľkonásobne vyššia (pozri tabuľku č.1), a preto je vplyv vody na jeho tepelné vlastnosti veľmi významný. Absolútne množstvo vody v izolačnom materiáli je aj pri 100% relatívnej vlhkosti vzduchu vždy tak malé, že sa to na výslednej tepelnej vodivosti výrazne neprejaví. Tepelné vlastnosti izolačných materiálov výrazne ovplyvňuje transport energie, ktorý je realizovaný výparom. Ten sa však výrazne prejaví až u materiálov, kde je značný prebytok vody.

Do budúca by preto bolo vhodné zamerať sa na spresnenie a doplnenie existujúceho modelu o výparné teplo, ako aj na zistenie priepustnosti vodných pár u najčastejšie používaných výplnkových materiálov pre spacie vaky.

Bibliografia

- [1] Ako si vybrať vhodný prístroj na meranie vlhkosti a rosného bodu (1). *AT&P journal* [online]. 2006, č. 12 [cit. 2008-01-15], s. 50 – 51. Dostupný z WWW: <http://www.atpjournals.sk/casopisy/atp_06/pdf/atp-2006-12-50.pdf>.
- [2] BOUŠOVÁ, K. *Hodnocení vlastností, které ovlivňují komfort spacích pytlů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2006. Diplomová práce.
- [3] CAMENZIND, M., WEDER, M., HARTOG, E. DEN. *Influence of body moisture on the thermal insulation of sleeping bags*. EMPA, 2002.
- [4] ČERVENKA, M. *Laboratorní cvičení z Fyziky I a II : Výpočet chyb u malých souborů naměřených dat* [online]. [200?] [cit. 2008-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://herodes.feld.cvut.cz/mereni/student/student.html>>.
- [5] DOSEDLOVÁ, I. *Tepelně izolační vlastnosti kolmo kladených textilií s obsahem bavlny*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 1998. Diplomová práce.
- [6] DOSTALOVÁ, M., KŘIVÁNKOVÁ, M. *Základy textilní a oděvní výroby*. 2. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-7083-504-4.
- [7] ELIZABETH A. MCCULLOUGH. *The use of thermal manikins to evaluate clothing and environmental factors*. Elsevier Ergonomics Book Series. 2005, vol. 3, s. 403 – 407.
- [8] FEXA, J., ŠIROKÝ, K. *Měření vlhkosti*. Praha: SNTL, 1983.
- [9] *Firma DAIKIN* [online]. ©1999-2000 [cit. 2008-01-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.daikin.sk/faq/items/heat-transfer.jsp>>.

- [10] FRÖHLICHOVÁ, A. *Vliv vlhkosti na tepelně-izolační vlastnosti tkanin pro pracovní oděvy*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2006. Diplomová práce.
- [11] HAVELKA, A., HALASOV, A. *Tepelné a vlhkotepelné tvarování v konfekci*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. ISBN 80-7083-713-6.
- [12] JENÍKOVÁ, J. *Studie o uplatnění roun melt-blown v oděvních výrobcích*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 1997. Diplomová práce.
- [13] JINTU FUN., XIAOMING QIAN. *New functions and applications of Walter, the sweating fabric manikin*. European Journal of Applied Physiology. Springer Berlin/Heidelberg: Sep 2004, vol. 92, no. 6, s. 641 – 644. ISSN 1439-6327
- [14] JIRSÁK, O, KALINOVÁ, K. *Netkané textilie*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003, 129 s. ISBN 80-7083-746-2.
- [15] KOPECKÝ, V. *Vliv teploty a vlhkosti na tepelný odpor spacích pytlů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 1997. Diplomová práce.
- [16] KOVOLOVÁ, G. *Měření tepelné-izolačních vlastností 3D textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2000. Bakalářská práce.
- [17] MAREŠ, L. *TZB-info* [online]. 13.3.2006 [cit. 2008-01-16]. Dostupný z WWW: <<http://vetrani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3137>>. ISSN 1801-439.
- [18] MRÁZ, M. *Stanovení tepelného odporu izolační podložky*. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky, 2004. Diplomová práce.
- [19] PAVLOVSKÁ, J. *Studie fyziologických vlastností oděvního výrobku s použitím laminátu vzhledem ke klasickému vrstvení oděvních materiálů ve výrobku*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2004. Diplomová práce
- [20] PEŠOUTOVÁ, J. *Vliv materiálu, hustoty a vlhkosti tepelně izolačního výplňového rouna na jeho tepelné vlastnosti*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 1988. Diplomová práce.
- [21] REBENFELD, L., MILLER, B., WERNER, J. A. *Dynamická charakteristika pohlcování vlhkosti textilními materiály*. Textile Research Journal, 1985.

- [22] SIEGER, L. *Materiály k diplomce* [online], 13.11.2006 13:40, [cit. 2008-02-08]. Osobná komunikácia.
- [23] SIEGER, L. Najdi svůj spacák : Speciál spací pytle a karimatky. *Svět outdoor Novinky*. Praha: Outdoor Media s.r.o., 2005, č. 1, s. 3. ISSN 1801-2000.
- [24] SIEGER, L. Proč tolik tabulek? : Speciál spací pytle a karimatky. *Svět outdooru Novinky*. Praha: Outdoor Media s.r.o., 2005, č. 1, s. 4. ISSN 1801-2000.
- [25] SIEGER, L. Voda - problémy s energií. *Malý Průvodce světem outdooru*. Praha: Outdoor Media s.r.o., 2008, s. 12-14. ISSN 1214-326X.
- [26] ŠMIC, P. *Firma CONDOR* [online]. [200?] [cit. 2007-11-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.spacaky.cz/spacaky.htm>>.
- [27] STANĚK, J., KUBÍČKOVÁ, M. *Oděvní materiály*. 1. vyd. Liberec: VŠST, 1986
- [28] WEDER, M. *Analyse of sleeping bags at low temperatures with a sweating torso*. EMPA, 1996.
- [29] ŽALUD, V. *Hodnocení tepelně izolačních vlastností objemných textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 1997. Diplomová práce.

Príloha A

Experimentálne údaje

Podmienky merania:

Nastavenie klimatizačnej komory (typ Binder KBF 240):

- teplota vzduchu $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 10\%$
- výkon ventilátora nastavený na 50%

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 75\text{ mm}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,01\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,075\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 0,9\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (výpočet z teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti)

Tabuľky A1: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 0,9\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	09:20	13,9	11,3	2,6	0,145	17,63	56,7
Koniec	10:50	33,9	11,6	22,3	1,322		
							Dátum: 28.11.2007

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	11:20	15,5	10,5	5,0	0,309	17,63	56,7
Koniec	12:50	33,9	11,6	22,3	1,322		
Dátum: 28.11.2007							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	09:10	13,5	11,1	2,4	0,138	17,57	56,9
Koniec	10:40	33,9	11,8	22,1	1,310		
Dátum: 29.11.2007							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ [m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Nastavenie klimatizačnej komory (typ Binder KBF 240):

- teplota vzduchu $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 90\%$
- výkon ventilátora nastavený na 50%

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 75\text{ mm}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,01\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,075\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 8,5\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (výpočet z teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti)

Tabuľky A2: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 8,5\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	09:30	14,3	11,3	3,0	0,198	17,79	56,2
Koniec	11:00	33,6	11,1	22,5	1,334		
							Dátum: 20.11.2007

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	11:30	16,0	10,0	6,0	0,363	17,84	56,1
Koniec	13:00	33,4	10,9	22,5	1,338		
Dátum: 20.11.2007							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	13:30	16,0	10,4	5,6	0,351	17,87	55,9
Koniec	15:00	33,3	10,7	22,6	1,341		
Dátum: 20.11.2007							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ [m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Nastavenie klimatizačnej komory (typ Binder KBF 240):

- teplota vzduchu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 10\%$
- výkon ventilátora nastavený na 50%

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 75\text{ mm}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,01\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,075\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 1,7\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (výpočet z teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti)

Tabuľky A3: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 1,7\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	11:20	20,0	19,1	0,9	0,140	16,51	60,6
Koniec	12:50	42,2	21,1	21,1	1,237		
							Dátum: 12.11.2007

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	10:05	19,0	18,5	0,5	0,137	16,49	60,7
Koniec	11:30	41,5	20,5	21,0	1,236		
Dátum: 13.11.2007							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	12:10	20,0	18,9	1,1	0,168	16,48	60,7
Koniec	13:40	41,5	20,5	21,0	1,236		
Dátum: 13.11.2007							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ [m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Nastavenie klimatizačnej komory (typ Binder KBF 240):

- teplota vzduchu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 90\%$
- výkon ventilátora nastavený na 50%

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 75\text{ mm}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,01\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,075\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 15,7\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (výpočet z teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti)

Tabuľky A4: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 15,7\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	09:25	22,1	20,2	1,9	0,135	16,48	60,8
Koniec	10:55	42,2	21,2	21,0	1,234		
Dátum: 14.11.2007							

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	11:25	23,0	20,0	3,0	0,152	16,46	60,7
Koniec	13:00	41,5	20,5	21,0	1,235		
Dátum: 14.11.2007							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	13:30	23,2	19,8	3,4	0,160	16,46	60,7
Koniec	15:05	41,9	21,0	20,9	1,235		
Dátum: 14.11.2007							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ [m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Nastavenie klimatizačnej komory (typ Binder KBF 240):

- teplota vzduchu $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 10\%$
- výkon ventilátora nastavený na 50%

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 75\text{ mm}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,01\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,075\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 8,5\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (výpočet z teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti)

Tabuľky A5: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 8,5\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	11:15	51,6	50,2	1,4	0,098	13,46	74,3
Koniec	12:45	69,5	52,3	17,2	1,010		
Dátum: 21.11.2007							

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	13:25	52,9	50,9	2,0	0,104	13,48	74,2
Koniec	14:55	69,5	52,2	17,3	1,011		
Dátum: 21.11.2007							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	10:35	51,2	50,2	1,0	0,083	13,41	74,6
Koniec	12:05	69,4	52,2	17,2	1,006		
Dátum: 22.11.2007							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ [m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Nastavenie klimatizačnej komory (typ Binder KBF 240):

- teplota vzduchu $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 90\%$
- výkon ventilátora nastavený na 50%

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 75\text{ mm}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,01\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,075\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 76,6\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (výpočet z teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti)

Tabuľky A6: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 76,6\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	12:50	51,7	54,7	3,0	0,201	13,57	73,7
Koniec	14:20	68,8	51,3	17,5	1,018		
Dátum: 22.11.2007							

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	11:25	50,2	48,5	1,7	0,100	13,54	73,9
Koniec	13:00	68,3	50,9	17,4	1,015		
Dátum: 27.11.2007							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	13:30	53,8	50,0	3,8	0,220	13,60	73,6
Koniec	15:05	68,7	51,2	17,5	1,019		
Dátum: 27.11.2007							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ [m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Klimatické podmienky v miestnosti:

- teplota vzduchu $T = 9\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 80\%$

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 60\text{ mm}$

Zvlhčenie rúna vodou:

- objem vody $V_{\text{H}_2\text{O}} = 50\text{ ml}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,008\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,06\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 6250\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($50\text{ g} \div 0,008\text{ m}^3$)

Tabuľky A7: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 6250\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	21:00	17,9	08,7	9,2	0,554	13,88	72,1
Koniec	23:00	24,1	10,5	13,6	0,833		
							Dátum: 10.04.2008

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	24:00	17,8	08,8	9,0	0,498	13,83	72,3
Koniec	02:00	24,5	10,9	13,6	0,830		
Dátum: 11.04.2008							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	03:00	18,0	09,0	9,0	0,524	13,86	72,2
Koniec	05:00	24,3	10,7	13,6	0,831		
Dátum: 11.04.2008							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ [m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Klimatické podmienky v miestnosti:

- teplota vzduchu $T = 9\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 83\%$

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 60\text{ mm}$

Zvlhčenie rúna vodou:

- objem vody $V_{\text{H}_2\text{O}} = 100\text{ ml}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,008\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,06\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 12500\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($100\text{ g} \div 0,008\text{ m}^3$)

Tabuľky A8: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 12500\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	06:00	16,5	11,1	5,4	0,345	12,72	78,6
Koniec	08:00	23,4	10,9	12,5	0,763		
Dátum: 11.04.2008							

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	09:00	18,3	10,1	8,2	0,216	12,63	79,2
Koniec	11:00	23,1	10,7	12,4	0,758		
Dátum: 11.04.2008							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	12:00	17,2	10,2	7,0	0,347	12,67	79,0
Koniec	14:00	23,2	10,8	12,4	0,760		
Dátum: 11.04.2008							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ [m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Klimatické podmienky v miestnosti:

- teplota vzduchu $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 84\%$

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 60\text{ mm}$

Zvlhčenie rúna vodou:

- objem vody $V_{\text{H}_2\text{O}} = 200\text{ ml}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,008\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,06\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 25000\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($200\text{ g} \div 0,008\text{ m}^3$)

Tabuľky A9: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 25000\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	21:00	18,5	9,8	8,7	0,187	11,35	88,1
Koniec	23:00	20,3	9,2	11,1	0,681		
Dátum: 11.04.2008							

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	24:00	18,4	9,8	8,6	0,192	11,33	88,2
Koniec	02:00	20,3	9,2	11,1	0,680		
Dátum: 12.04.2008							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	03:00	18,1	9,6	8,5	0,190	11,30	88,5
Koniec	05:00	20,3	9,3	11,0	0,678		
Dátum: 12.04.2008							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **T_1 [$^{\circ}\text{C}$]** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **T_2 [$^{\circ}\text{C}$]** – teplota na povrchu rúna, **ΔT [$^{\circ}\text{C}$]** – teplotný gradient, **R_t [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]** – tepelný odpor rúna, **R_m [$\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]** – merný tepelný odpor rúna, **λ [$\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Klimatické podmienky v miestnosti:

- teplota vzduchu $T = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 38\%$

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 60\text{ mm}$

Zvlhčenie rúna vodou:

- objem vody $V_{\text{H}_2\text{O}} = 50\text{ ml}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,008\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,06\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 6250\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($50\text{ g} \div 0,008\text{ m}^3$)

Tabuľky A10: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 6250\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	17:00	21,1	20,4	0,7	0,035	10,03	99,7
Koniec	19:00	33,4	23,3	10,1	0,602		
Dátum: 09.04.2008							

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	20:00	21,2	20,6	0,6	0,025	10,02	99,8
Koniec	22:00	33,2	23,1	10,1	0,601		
Dátum: 09.04.2008							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	23:00	22,0	21,1	0,9	0,044	10,01	99,9
Koniec	01:00	33,3	23,2	10,1	0,601		
Dátum: 10.04.2008							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ [}^{\circ}\text{C]}$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ [m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ [m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{]}$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ [mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{]}$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Klimatické podmienky v miestnosti:

- teplota vzduchu $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 38\%$

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 60\text{ mm}$

Zvlhčenie rúna vodou:

- objem vody $V_{\text{H}_2\text{O}} = 100\text{ ml}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,008\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,06\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 12500\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($100\text{ g} \div 0,008\text{ m}^3$)

Tabuľky A11: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 12500\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	16:00	21,7	21,3	0,4	0,036	9,72	102,9
Koniec	18:00	33,0	23,1	9,9	0,583		
							Dátum: 13.04.2008

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	19:00	22,0	21,3	0,7	0,054	9,70	103,1
Koniec	21:00	33,6	23,7	9,9	0,582		
							Dátum: 13.04.2008

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	22:00	22,4	21,7	0,7	0,046	9,71	103,0
Koniec	24:00	33,5	23,6	9,9	0,582		
Dátum: 13.04.2008							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ }[^{\circ}\text{C}]$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ }[^{\circ}\text{C}]$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ }[^{\circ}\text{C}]$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ }[\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ }[\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ }[\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$** – tepelná vodivosť rúna

Podmienky merania:

Klimatické podmienky v miestnosti:

- teplota vzduchu $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relatívna vlhkosť vzduchu $RH = 35\%$

Nastavenie prístroja Lambdameter:

- hrúbka rúna $h = 60\text{ mm}$

Zvlhčenie rúna vodou:

- objem vody $V_{\text{H}_2\text{O}} = 200\text{ ml}$

Doplňujúce informácie získané výpočtom:

- objem rúna $V_t = 0,008\text{ m}^3$ ($0,38\text{ m} \times 0,34\text{ m} \times 0,06\text{ m}$)
- absolútna vlhkosť $a = 25000\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($200\text{ g} \div 0,008\text{ m}^3$)

Tabuľky A12: Tepelnoizolačné vlastnosti rúna pri $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a = 25000\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Meranie č. 1	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	01:00	22,1	21,4	0,7	0,055	9,00	111,2
Koniec	03:00	32,5	23,4	9,1	0,540		
							Dátum: 14.04.2008

Meranie č. 2	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	04:00	21,7	21,3	0,4	0,065	9,03	110,7
Koniec	06:00	32,7	23,5	9,2	0,542		
Dátum: 14.04.2008							

Meranie č. 3	Čas [hh:mm]	T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	ΔT [°C]	R _t [m ² ·K·W ⁻¹]	R _m [m·K·W ⁻¹]	λ [mW·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Štart	07:00	22,1	21,5	0,6	0,049	9,01	111,0
Koniec	09:00	32,9	23,7	9,2	0,541		
Dátum: 14.04.2008							

Legenda k tabuľkám:

Čas [hh:mm] – čas začatia a ukončenia merania, **$T_1\text{ }[^{\circ}\text{C}]$** – teplota na povrchu výhrevnej špirály, **$T_2\text{ }[^{\circ}\text{C}]$** – teplota na povrchu rúna, **$\Delta T\text{ }[^{\circ}\text{C}]$** – teplotný gradient, **$R_t\text{ }[\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$** – tepelný odpor rúna, **$R_m\text{ }[\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$** – merný tepelný odpor rúna, **$\lambda\text{ }[\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$** – tepelná vodivosť rúna

Príloha B

Spracovanie experimentálnych údajov

Výpočet chyby merania

Pri štatistickom spracovaní vychádzame z veľmi malého výberu dát ($n = 3$), a preto je potrebné uvažovať o Študentovom rozdelení. Pre výpočet chyby merania je potrebný aritmetický priemer a stredná kvadratická chyba aritmetického priemeru.

Aritmetický priemer:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

kde: \bar{x} – aritmetický priemer
 x_i – namerané hodnoty
 N – celkový počet meraní

Stredná kvadratická chyba aritmetického priemeru (Gaussovo rozdelenie):

Pri strednej kvadratickej chybe aritmetického priemeru sa predpokladá, že chyby ovplyvňujúce meranie sú náhodné a že majú Gaussovo rozdelenie.

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} \quad (2)$$

kde: \bar{s} – stredná kvadrat. chyba aritmetického priemeru (Gaussovo rozdelenie)
 x_i – namerané hodnoty
 \bar{x} – aritmetický priemer
 N – celkový počet meraní

V úvode bolo spomenuté, že pri veľmi malom výbere dát je potrebné uvažovať o Študentovom rozdelení, a preto je nutné strednú kvadratickú chybu aritmetického priemeru (\bar{s}) vynásobiť koeficientom ($t_{1-p,N}$), ktorý je kvantilom študentovho rozdele-

nia. Hodnota kvantilu je závislá od požadovanej pravdepodobnosti (P) a od celkového počtu meraní (N).

Stredná kvadratická chyba aritmetického priemeru (Študentovo rozdelenie):

$$\delta_s = \bar{s} \cdot t_{1-P,N} \quad (3)$$

kde: δ_s – stredná kvadrat. chyba aritmetického priemeru (Študentovo rozdelenie)
 \bar{s} – stredná kvadrat. chyba aritmetického priemeru (Gaussovo rozdelenie)
 $t_{1-P,N}$ – kvantil Študentovho rozdelenia

Koeficienty $t_{1-P,N}$ sú uvedené v nasledujúcej tabuľke, kde jednotlivé riadky odpovedajú počtu nameraných hodnôt a stĺpce odpovedajú požadovanej pravdepodobnosti.

Tabuľka B3: Koeficienty pre výpočet intervalu spoľahlivosti [4]

$t_{1-P,N}$								
N, P	50 %	90 %	95 %	96 %	97 %	98 %	99 %	99,5 %
3	0,82	2,92	4,30	4,85	5,64	6,96	9,92	14,09
4	0,76	2,35	3,18	3,48	3,90	4,54	5,84	7,45
5	0,74	2,13	2,78	3,00	3,30	3,75	4,60	5,60
6	0,73	2,02	2,57	2,76	3,00	3,36	4,03	4,77
7	0,72	1,94	2,45	2,61	2,83	3,14	3,71	4,32
8	0,71	1,89	2,36	2,52	2,71	3,00	3,50	4,03
9	0,71	1,86	2,31	2,45	2,63	2,90	3,36	3,83
10	0,70	1,83	2,26	2,40	2,57	2,82	3,25	3,69

Výsledný zápis vyzerá takto:

$$X = \bar{x} \pm \delta_s \text{ [jednotka]} \quad (4)$$

kde: X – skutočná hodnota
 \bar{x} – aritmetický priemer
 δ_s – stredná kvadrat. chyba aritmetického priemeru (Študentovo rozdelenie)

Tabuľka B1: teplota vzduchu $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 0,9\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	17,63	17,63	17,57	17,61	0,09
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	56,7	56,7	56,9	56,8	0,3

Tabuľka B2: teplota vzduchu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 1,7\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	16,51	16,49	16,48	16,49	0,07
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	60,6	60,7	60,7	60,7	0,1

Tabuľka B3: teplota vzduchu $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 8,5\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	13,46	13,48	13,41	13,45	0,16
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	74,3	74,2	74,6	74,4	0,5

Tabuľka B4: teplota vzduchu $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 8,5\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	17,79	17,84	17,87	17,83	0,17
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	56,2	56,1	55,9	56,1	0,4

Tabuľka B5: teplota vzduchu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 15,7\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	16,48	16,46	16,46	16,47	0,05
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	60,8	60,7	60,7	60,7	0,1

Tabuľka B6: teplota vzduchu $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 76,6\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	13,57	13,54	13,60	13,57	0,13
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	73,7	73,9	73,6	73,7	0,4

Legenda k tabuľkám:

$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$ – merný tepelný odpor rúna, $\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ – tepelná vodivosť rúna, \bar{x} – aritmetický priemer, δ_s – stredná kvadratická chyba aritmetického priemeru (Študentovo rozdelenie)

Tabuľka B7: teplota vzduchu $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 6250\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	13,88	13,83	13,86	13,86	0,06
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	72,1	72,3	72,2	72,2	0,2

Tabuľka B8: teplota vzduchu $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 12500\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	12,72	12,63	12,67	12,67	0,11
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	78,6	79,2	79,0	78,9	0,8

Tabuľka B9: teplota vzduchu $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 25000\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	11,35	11,33	11,30	11,33	0,06
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	88,1	88,2	88,5	88,3	0,5

Tabuľka B10: teplota vzduchu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 6250\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	10,03	10,02	10,01	10,02	0,02
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	99,7	99,8	99,9	99,8	0,2

Tabuľka B11: teplota vzduchu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 12500\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	9,72	9,70	9,71	9,71	0,02
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	102,9	103,1	103,0	103,0	0,2

Tabuľka B12: teplota vzduchu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, absolútna vlhkosť $a = 25000\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Namerané údaje				Štatistické spracovanie	
	Meranie č.1	Meranie č.2	Meranie č.3	\bar{x}	δ_s
$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$	9,00	9,03	9,01	9,01	0,04
$\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	111,2	110,7	111,0	111,0	0,6

Legenda k tabuľkám:

$R_m [\text{m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$ – merný tepelný odpor rúna, $\lambda [\text{mW}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ – tepelná vodivosť rúna, \bar{x} – aritmetický priemer, δ_s – stredná kvadratická chyba aritmetického priemeru (Študentovo rozdelenie)

Príloha C

Doplňujúce informácie o rúne

Plošná hmotnosť textílie

Definícia: Plošná hmotnosť textílie je hmotnosť textílie so známou plochou, ktorá sa vzťahuje k tejto ploche.

Podmienky merania: teplota vzduchu $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, relatívna vlhkosť $RH = 59\text{ }\%$

Rúno bolo vážené na váhe s presnosťou na dve desatinné miesta. Vážená bola vzorka rúna s plochou $S = 10\text{ cm}^2$.

Vzťah pre výpočet plošnej hmotnosti rúna:

$$\rho_s = \frac{m}{S} \quad (1)$$

kde: ρ_s – plošná hmotnosť [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]
 m – hmotnosť [kg]
 S – plocha [m^2]

Tabuľka C1: Plošná hmotnosť rúna

Číslo merania	m [g]	ρ_s [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]
1	1,21	121
2	1,46	146
3	1,45	145
4	1,25	125
5	1,32	132
\bar{x}	1,34	134

Hrúbka textílie

Definícia: Hrúbka textílie je vzdialenosť medzi dvomi definovanými doskami, pričom na textíliu pôsobí zvolený prítlak.

Podmienky merania: teplota vzduchu $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, relatívna vlhkosť $RH = 59\%$

Hrúbka rúna bola meraná pomocou digitálneho hrúbkomeru SDL M034A. Použitá bola prítlačná pätká s plochou $S = 100\text{ cm}^2$. Pre meranie dotykovej hrúbky textílie udáva norma ČSN 80 0844 prítlak $6,9\text{ Pa}$. Na prístroji SDL M034A je však možné zadať iba prítlak s presnosťou na celé číslo, a preto bol zvolený prítlak 7 Pa .

Tabuľka C2: Hrúbka rúna pri rôznom prítlaku (7 Pa)

Číslo merania	$h\text{ [mm]}$
1	22,32
2	22,07
3	22,04
4	22,00
5	22,36
\bar{x}	22,16

Legenda k tabuľke: $h\text{ [mm]}$ – hrúbka rúna pri prítlaku 7 Pa , \bar{x} - aritmetický priemer

Objemová hmotnosť

Definícia: Objemová hmotnosť textílie je hmotnosť textílie o objeme jeden meter kubický a vypočítame ju zo vzťahu:

$$\rho_v = \frac{m}{V} = \frac{m}{S \cdot h} \quad (2)$$

kde:

- ρ_v – prietok vzduchu [$m^3 \cdot s^{-1}$]
- m – hmotnosť [kg]
- V – objem vzduchu [m^3]
- S – plocha [m^2]
- h – hrúbka [m]

Objemová hmotnosť vychádza z plošnej hmotnosti a z hrúbky materiálu. Priemerná plošná hmotnosť rúna je **134 g·m⁻²** a priemerná hrúbka rúna (dotyková hrúbka rúna) je **22,16 mm**. Priemerná objemová hmotnosť rúna je preto **6047 g·m⁻³**.

Priedušnosť textílie

Definícia: Priedušnosť textílie predstavuje rýchlosť prúdiaceho vzduchu, prechádzajúceho kolmo plochou skúšanej vzorky pri stanovenom tlakovom spáde a čase.

Podmienky merania: teplota vzduchu $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, relatívna vlhkosť $RH = 59\%$

Priedušnosť rúna sa zisťuje z prietoku vzduchu, ktorý sa meria na prístroji SDL M021S. Toto meranie ďalej upravuje norma ČSN 80 0817. Tá stanovuje tlakový spád $\Delta p = 100\text{ Pa}$ pre odevné textílie a $\Delta p = 200\text{ Pa}$ pre technické textílie. Pri tlakových spádoch, ktoré udáva norma však nebolo možné zmerať priedušnosť použitého rúna, a preto bol na základe skúšky stanovený tlakový spád $\Delta p = 3\text{ Pa}$. Plocha držiaku, v ktorom je uchopený materiál, je 20 cm^2 (držiak vymedzuje plochu materiálu, ktorou prechádza prúdiaci vzduch).

Vzťah pre výpočet priedušnosti rúna:

$$R = \frac{q_v}{S} \quad (3)$$

kde: R – priedušnosť [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 q_v – prietok vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
 S – plocha [m^2]

Tabuľka C3: Priedušnosť rúna pri tlakovom spáde 3 Pa

Číslo meranie	q_v [$\text{ml} \cdot \text{s}^{-1}$]	R [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
1	340	0,170
2	330	0,165
3	320	0,160
4	340	0,170
5	320	0,160
\bar{x}	330	0,165

Priepustnosť vodných pár

Definícia: Schopnosť textílie neklásť odpor unikaniu vlhkosti vznikajúcej na povrchu ľudského tela v podobe vodnej pary do okolitého prostredia.

Podmienky merania: teplota vzduchu $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, relatívna vlhkosť $RH = 59\%$

Meranie priepustnosti vodných pár bolo realizované na prístroji PERMETEST.

$$P_h = \frac{p_1}{p_0} \cdot 100\% \quad (4)$$

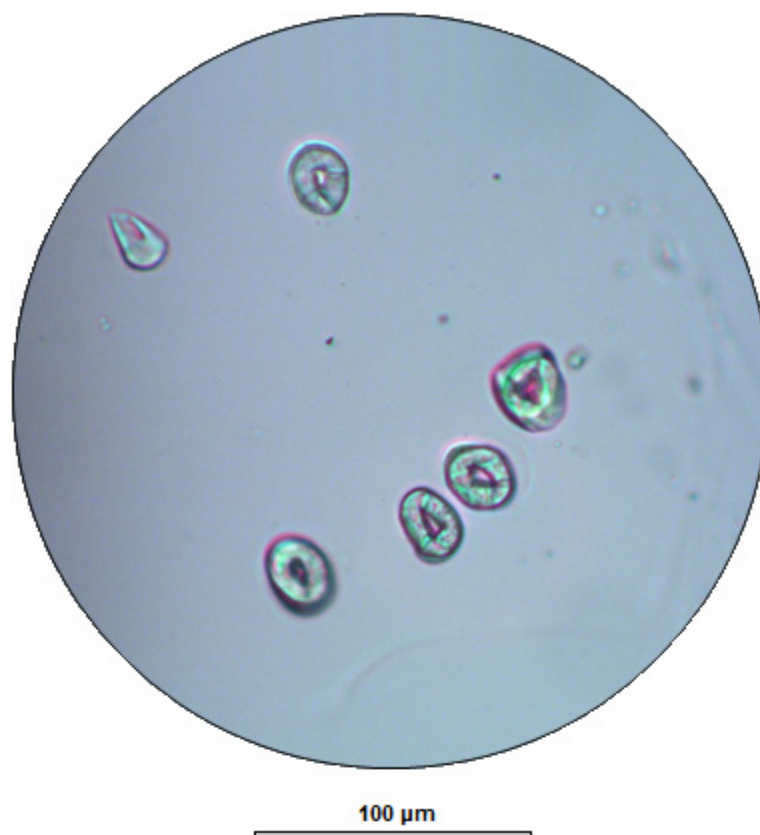
kde: P_h – relatívna priepustnosť vodných pár [%]
 p_0 – max. ustálená hodnota zapisovača v [cm] odpovedajúca priepustnosti vodných pár pred vložením textílie do prístroja
 p_1 – max. ustálená hodnota zapisovača v [cm] odpovedajúca priepustnosti vodných pár po vložení textílie do prístroja

Tabuľka C4: Relatívna priepustnosť vodných pár

Číslo merania	p_0 [cm]	p_1 [cm]	P_h [%]
1	8,2	0,4	4,9
2	9,3	0,5	5,3
3	9,4	0,5	5,3
4	8,3	0,4	4,8
5	8,1	0,4	4,9
\bar{x}	8,7	0,4	5,1

Obrázok rezu syntetických (PES) vlákien z rúna bol vytvorený na Katedre textilných materiálov pomocou mikroskopu a kamery v laboratóriu pre obrazovú analýzu. Rez vlákien mal hrúbku 15 - 20 μm . Fotka bola urobená pri 40 násobnom zväčšení.

Obrázok C1: Rez vlákien z rúna použitého v experimente



Obrázok syntetických (PES) vlákien z rúna bol vytvorený na Katedre textilných materiálov pomocou mikroskopu a kamery v laboratóriu pre obrazovú analýzu. Fotka bola urobená pri 40 násobnom zväčšení.

Obrázok C2: Vlákna z rúna použitého v experimente

